



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
NÚCLEO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Caroline Guerra Ramos Almeida

**Avaliação da Qualidade do Ar Interior e do Conforto Ambiental no Prédio do Núcleo de
Engenharia Ambiental**

São Cristóvão, SE

2015

Caroline Guerra Ramos Almeida

Avaliação da Qualidade do Ar Interior e do Conforto Ambiental no Prédio do Núcleo de
Engenharia Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Núcleo de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Sergipe, como parte dos
requisitos para obtenção da graduação em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos

São Cristóvão, SE

2015

Autora do Trabalho: Caroline Guerra Ramos Almeida

Título do Trabalho: Avaliação da Qualidade do Ar Interior e do Conforto Ambiental no Prédio do Núcleo de Engenharia Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Núcleo de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos para obtenção da graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Trabalho aprovado no dia _____ de _____ de _____.

Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos

Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. José Jailton Marques

Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Giancarlo Richard Salazar Banda

Universidade Tiradentes

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder o dom da vida todos os dias. Sem Ele, esta realização não teria sido alcançada.

A todos os meus professores, desde o ensino infantil até a universidade, por me transformarem em uma pessoa melhor todos os dias. Um agradecimento especial ao meu orientador André Luis Dantas Ramos que acreditou em mim desde o começo e me fez descobrir o gosto pela pesquisa. Obrigada por aceitar mais este desafio!

Agradeço também ao professor Jailton pela disponibilidade, paciência e por todos os ensinamentos.

Ao professor Dariva e ao pessoal do NUESC, na Unit, que contribuíram para que eu pudesse realizar este trabalho. Agradeço igualmente ao pessoal do Laboratório de Bioquímica Industrial, na UFS.

A toda minha família que apoiou desde o início a minha decisão em me tornar uma Engenheira Ambiental e não mediu esforços para que eu pudesse realizar este sonho. Agradeço especialmente aos meus pais, Ana Lúcia e Ronaldo, por me darem todo o suporte e amor necessários para que eu siga sempre em frente no caminho certo.

Ao meu companheiro e melhor amigo Luiz Filipe que sempre esteve ao meu lado me encorajando e me dando forças para vencer os desafios da vida. Esse agradecimento se estende a toda sua família.

A todos os meus amigos, por me proporcionarem ótimos momentos, especialmente aos amigos que fiz na UFS, que me ajudaram a chegar até aqui. Em especial à Fernanda que percorreu essa jornada ao meu lado desde o primeiro dia.

Enfim, agradeço a todos que me apoiaram nessa jornada. Todos foram muito importantes e eu não teria conseguido sem vocês.

Muito obrigada!

RESUMO

É sabido que a qualidade do ar e o conforto em ambientes internos são fatores que influenciam diretamente o bem estar, a saúde e a produtividade das pessoas. Apesar de sua importância na vida dos indivíduos, este tema ainda é pouco discutido no Brasil. O presente trabalho consistiu em avaliar a qualidade do ar e o conforto no prédio do Núcleo de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe através da mensuração de alguns parâmetros relacionados ao conforto ambiental e de uma avaliação qualitativa do prédio como um todo. Os parâmetros analisados foram concentração de CO₂, temperatura, umidade relativa, bioaerosol e taxa de renovação do ar. A metodologia utilizada para os quatro primeiros parâmetros teve como base a Resolução nº 9 da ANVISA, de 2003, e a taxa de renovação do ar foi estimada com base no cálculo da vazão de ar nos ambientes. Os resultados encontrados mostram que a climatização dos ambientes age de forma positiva reduzindo os níveis de temperatura e umidade relativa, porém, para um nível de ocupação elevado, a taxa de renovação do ar não é satisfatória. A avaliação qualitativa mostra que existem diversas fontes de contaminação do ar dentro do prédio e que a manutenção dos aparelhos de ar condicionado não é realizada com a frequência necessária recomendada pelas normas nacionais.

Palavras-chave: Qualidade do ar de interiores. Conforto ambiental. Ambientes internos.

ABSTRACT

It is well known that air quality and indoor comfort are factors that directly affect the well-being, health and productivity of people. Despite its importance in individuals' life, this topic is still uncommon in Brazil. The objective of this work was to evaluate the air quality and comfort of the Environmental Engineering building at the Federal University of Sergipe by measuring some parameters related to the environmental comfort and through a qualitative assessment of the building as a whole. The parameters evaluated were CO₂ concentration, temperature, relative humidity, bioaerosol and air renewal rate. The methodology used for the four first parameters was based on the Resolution number 9 of ANVISA, from 2003, and the air renewal rate was estimated based on the calculation of the air flow in environments. The results show that the environments' air conditioning systems act positively by reducing the levels of temperature and relative humidity. However, for a high occupancy level, the air renewal rate is not satisfactory. The qualitative assessment shows that there are several sources of air pollution inside the building and that the air conditioners maintenance is not performed as often as necessary as indicated by national standards.

Key words: Indoor air quality. Environmental comfort. Indoors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de poluentes dentro de um ambiente.....	21
Figura 2 - Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.	34
Figura 3 - Efeito da umidade relativa na saúde das pessoas.	37
Figura 4 - Relação entre PMV e PPD.	41
Figura 5 - Taxa de respiração, consumo de oxigênio e produção de CO ₂ em função do metabolismo.	45
Figura 6 - Componentes de um sistema de ventilação mecânica.	46
Figura 7 - Planta baixa do prédio do NEAM e parâmetros avaliados em cada ambiente.....	61
Figura 8 - Medidor de CO ₂ , T e UR utilizado.	64
Figura 9 - Placa de Petri com meio de cultivo solidificado.....	67
Figura 10 - Representação dos elementos do balanço de massa nos ambientes selecionados.	69
Figura 11 - Curva típica observada da concentração de CO ₂ em função do tempo.	71
Figura 12 – Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Laboratório de Controle da Poluição Atmosférica (LCPA) para ar condicionado desligado e ligado: (a) e (b) Concentração de CO ₂ ; (c) e (d) Temperatura; (e) e (f) Umidade Relativa.	74
Figura 13 - Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Laboratório Avançado de Informática e Geoprocessamento (LAGEO) para ar condicionado desligado e ligado: (a) e (b) Concentração de CO ₂ ; (c) e (d) Temperatura; (e) e (f) Umidade Relativa.	75
Figura 14 – Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Gabinete 5 para ar condicionado desligado e ligado: (a) e (b) Concentração de CO ₂ ; (c) e (d) Temperatura; (e) e (f) Umidade Relativa.	76
Figura 15 - Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Corredor: (a) Concentração de CO ₂ ; (b) Temperatura; (c) Umidade Relativa.	77
Figura 16 - Monitoramento da concentração de CO ₂ (a), temperatura (b) e umidade relativa (c), no Gabinete 5, dia 30/07/2015.....	80
Figura 17 - Variação na concentração de CO ₂ (a), temperatura (b) e umidade relativa (c) com o número de pessoas. Gabinete 5, 30/10/2015.	82
Figura 18 - Gráficos com as variações na concentração de CO ₂ (a), temperatura (b) e umidade relativa (c) durante uma aula no LAGEO com o ar condicionado ligado, dia 10/11/2015.....	84

Figura 19 – Fotografias das placas de Petri após um período de 7 dias de incubação a 25 °C para as amostragens realizadas no LAGEO nos dias (a) 17/07/2015; (b) 01/10/2015; e (c) 08/10/2015.	85
Figura 20 – Fotografias das placas de Petri após um período de 7 dias de incubação a 25 °C para as amostragens realizadas no Gabinete 5 nos dias (a) 17/07/2015; (b) 01/10/2015; e (c) 08/10/2015.....	86
Figura 21 - Perfil de variação de CO ₂ e gráfico linearizado para o Gabinete 5 nos dias: (a) 03/06/2015; (b) 12/06/2015; e (c) 06/11/2015. Ar condicionado ligado.	87
Figura 22 - Perfil de variação de CO ₂ e gráfico linearizado para o Gabinete 5 nos dias: (a) 11/06/2015; e (b) 19/06/2015. Ar condicionado desligado.....	88
Figura 23 - Perfil de variação de CO ₂ e gráfico linearizado para o LAGEO no dia 01/07/2015. Ar condicionado ligado.	89
Figura 24 - Perfil de variação de CO ₂ e gráfico linearizado para o LAGEO (AL) no dia 13/11/2015. Ar condicionado desligado.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da OMS para compostos orgânicos quanto ao ponto de ebulição.	26
Tabela 2 - COVs e suas principais fontes em ambientes interiores.	27
Tabela 3 - Sensação de resfriamento causada por diferentes velocidades do ar.	36
Tabela 4 - Metabolismo em função da atividade desenvolvida.	38
Tabela 5 - Resistências térmicas dos vestuários.	39
Tabela 6 - Sensação térmica de acordo com o valor do PMV.	40
Tabela 7 - Taxa mínima de renovação do ar de acordo com a RSECE.	43
Tabela 8 – Recomendações da ASHRAE para taxa de renovação do ar em trocas por hora.	43
Tabela 9 - Produção de CO ₂ de acordo com a atividade metabólica realizada.	44
Tabela 10- Componentes de um sistema AVAC típico e suas respectivas funções.	47
Tabela 11 - VMR pela RE/ANVISA nº 09.	51
Tabela 12 - Recomendações da RE/ANVISA nº 09 quanto aos procedimentos de manutenção e limpeza de sistemas AVAC.	52
Tabela 13 - Recomendações da RN 02 da ABRAVA.	53
Tabela 14 - Valores recomendados pela NBR 16401-2 para alguns parâmetros de conforto térmico.	55
Tabela 15 - Recomendações da NBR 16401-3 para taxa de renovação do ar.	55
Tabela 16 - Classe mínima de filtragem a ser utilizada de acordo com o tipo de ambiente.	56
Tabela 17 - Distância mínima de possíveis fontes de poluição.	56
Tabela 18 - Máximo de concentração para alguns poluentes de acordo com a ASHRAE.	59
Tabela 19 - Número mínimo de amostras recomendado de acordo com a área do ambiente.	63
Tabela 20 - Especificações técnicas do medidor de CO ₂ , T e UR utilizado.	64
Tabela 21 - Resultados dos valores de vazão, taxa de renovação do ar e número máximo de pessoas de acordo com a RE/ANVISA nº 9 de 2003.	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4-PC	4-fenil ciclohexano
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BRASINDOOR	Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle da Qualidade do Ar de Interiores
BRI	<i>Building Related Illness</i>
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DRE	Doenças Relacionadas ao Edifício
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
HCHO	Formaldeído
I _{cl}	Isolamento Térmico da Roupa
I/E	Relação entre a quantidade de fungos no ambiente interior (I) e no ambiente exterior (E)
IEQ	<i>Indoor Environmental Quality</i>
LAGEO	Laboratório Avançado de Informática e Geoprocessamento
LCPA	Laboratório de Controle da Poluição Atmosférica
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MP	Material Particulado
NDIR	Infravermelho não dispersivo
NEAM	Núcleo de Engenharia Ambiental

NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PMOC	Plano de Manutenção, Operação e Controle
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> ou Voto Médio Previsível
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> ou Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
QAI	Qualidade do Ar de Interiores
SBS	<i>Sick Building Syndrome</i>
SED	Síndrome dos Edifícios Doentes
SNC	Sistema Nervoso Central
SO ₂	Dióxido de enxofre
T	Temperatura
UF	Ureia-formaldeído
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFS	Universidade Federal de Sergipe
UR	Umidade Relativa
VMR	Valores Máximos Recomendáveis
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1. Qualidade do Ar de Interiores	16
2.1.1. Histórico.....	16
2.1.2. Síndrome dos Edifícios Doentes (SED).....	18
2.1.3. Poluentes em Ambientes Interiores: Fontes e Efeitos	20
2.1.3.1. Material Particulado (MP)	22
2.1.3.2. Vapores e Gases	25
2.2. Conforto Ambiental	32
2.2.1. Conforto Térmico	32
2.2.2. Ventilação, Taxa de Renovação do Ar e Sistemas de AVAC.....	41
2.3. Legislação.....	49
2.3.1. Nacional	49
2.3.2. Internacional.....	57
3. METODOLOGIA.....	60
3.1. Descrição da Área de Estudo.....	60
3.2. Temperatura, Umidade Relativa e Concentração de CO ₂	62
3.2.1. Medições Pontuais	64
3.2.2. Monitoramento ao Longo do Dia	65
3.2.3. Influência do Número de Ocupantes	65
3.3. Bioaerosol.....	66
3.3.1. Preparação do Meio de Cultura	66
3.3.2. Coleta de Bioaerosol.....	67

3.3.3.	Contagem de Fungos	67
3.4.	Taxa de Renovação do Ar	67
3.5.	Avaliação Qualitativa e Sistemas de AVAC	72
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1.	Temperatura, Umidade Relativa e Concentração de CO ₂	73
4.1.1.	Medições Pontuais	73
4.1.2.	Monitoramento ao Longo do Dia	79
4.1.3.	Influência do Número de Ocupantes	81
4.2.	Bioaerosol.....	85
4.3.	Taxa de Renovação do Ar	87
4.4.	Diagnóstico Qualitativo	92
4.5.	Manutenção dos Sistemas de AVAC	93
4.6.	Sugestões de Melhoria	94
5.	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS	97
	ANEXOS.....	101

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de parâmetros relacionados à qualidade do ar e ao conforto em ambientes internos (habitações, escolas, hospitais, creches, escritórios, meios de transporte, dentre outros) é um tema bastante atual que vem ganhando destaque no Brasil e no mundo.

A importância de se dispor de um ar livre de poluentes é bem difundida, porém, a atenção tem sido voltada principalmente para ar atmosférico (ambiente externo). Recentemente, a preocupação com a qualidade do ar que respiramos dentro de ambientes fechados tem crescido.

Existem algumas razões que levam ao estudo e à elaboração de documentos específicos para o ar interior, separando-o do ar atmosférico.

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (2009), além de existir uma grande variedade de fontes de poluição específicas de ambientes internos, as pessoas passam a maior parte do tempo nesse tipo de ambiente. Segundo a EPA (1995), cerca de 90% do tempo.

Além desses dois fatores, nos últimos anos, vários estudos têm mostrado que o ar em ambientes interiores pode estar mais poluído que o ar exterior, mesmo em cidades altamente industrializadas (EPA, 1995).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) salienta ainda que, em ambientes internos, as pessoas estão expostas tanto a poluentes gerados no ambiente externo, que entram no ambiente interno, quanto a poluentes gerados no interior dos edifícios (WHO, 2010).

Além disso, sabe-se que a Qualidade do Ar de Interiores (QAI) é um fator determinante para a qualidade de vida (bem estar) e para a saúde dos indivíduos (WHO, 2010). Poluentes presentes nestes ambientes podem vir a ocasionar diversos problemas de saúde nas pessoas, como doenças respiratórias e cardiopulmonares (GENNARO et al., 2014), e até levar à morte (WHO, 2010). A OMS registrou, em 2012, 7 milhões de mortes prematuras devido à poluição do ar, das quais 4,3 milhões estavam relacionadas à poluição do ar de interiores (WHO, 2014 apud LUENGAS et al., 2015). Ainda de acordo com a OMS, a poluição do ar de interiores é o oitavo fator de risco a doenças, responsável por 2,7 % dos casos de doenças no mundo (WHO, 2008 apud QUADROS et al., 2009).

Um fator agravante é que as pessoas que geralmente ficam mais tempo expostas a poluentes em ambientes internos são aquelas mais susceptíveis aos efeitos adversos à saúde causados por esses poluentes, como crianças, idosos e pessoas com doenças crônicas (EPA, 1995).

As crianças, por exemplo, que passam longos períodos confinadas dentro de salas de aulas, são mais susceptíveis a alguns poluentes se comparadas a indivíduos adultos, uma vez que respiram um maior volume de ar em relação ao seu peso corporal e ainda estão em fase de desenvolvimento (MENDELL, 2005 apud ALVES; ACIOLE, 2012).

Vale ressaltar que a QAI e o conforto ambiental não dependem apenas da concentração de poluentes dentro de um ambiente. Fatores como temperatura, umidade do ar, ruído, iluminação, taxa de renovação e velocidade do ar estão intimamente relacionados à sensação de conforto ambiental e contribuem de forma significativa para a percepção da qualidade do ar.

A produtividade dos indivíduos dentro de um ambiente de trabalho, por exemplo, é bastante influenciada pela sensação de conforto (SCHIRMER et al., 2011). Estudos mostram que o desconforto térmico, por exemplo, reduz o desempenho humano em atividades intelectuais, manuais e perceptivas (LAMBERTS et al., 2014).

Dada a relevante e atual importância do tema, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de avaliar a qualidade do ar e o conforto em ambientes internos, baseando-se na coleta de dados e posterior comparação com as recomendações estabelecidas pela legislação nacional e internacional e com o ambiente externo. O ambiente selecionado para coleta de dados foi o prédio do Núcleo de Engenharia Ambiental (NEAM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Para se alcançar este objetivo principal, foi realizada, primeiramente, uma pesquisa aprofundada sobre o tema e uma coletânea das principais normas nacionais e internacionais relacionadas à QAI e aos parâmetros de conforto ambiental. Em uma segunda fase, foram selecionados os parâmetros a serem analisados e as suas respectivas metodologias de análise. Finalmente, foi realizada a coleta dos dados e sua avaliação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos relacionados à QAI e ao conforto ambiental além de uma apresentação da legislação relacionada ao tema.

2.1. Qualidade do Ar de Interiores

Como já abordado, uma boa qualidade do ar em ambientes interiores é um fator determinante para o bem estar, a saúde e o desempenho dos ocupantes. De acordo com a ASHRAE (2010, p. 3), um ambiente com uma qualidade do ar aceitável possui “um ar em que não se identifica a presença de contaminantes em concentrações que possam ser prejudiciais de acordo com autoridades no assunto e em que a maioria (80 % ou mais) dos ocupantes não expresse insatisfação”.

A composição do ar em ambientes interiores resulta da interação de diversos fatores como localização, clima local, sistema de ventilação, fontes de contaminação e número de ocupantes (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009). De acordo com a EPA (1995), existem três fatores principais que contribuem para a má qualidade do ar interior em edifícios de escritórios: a presença de fontes de poluentes, a má manutenção e operação dos sistemas de ventilação e a mudança no uso do edifício, como a construção de novas divisórias que impeçam a recirculação do ar.

Nos próximos itens serão apresentados um histórico do estudo da qualidade do ar de interiores no Brasil e no mundo, os conceitos de Síndrome do Edifício Doente (SED) e de Doenças Relacionadas ao Edifício (DRE) e as fontes e efeitos dos principais poluentes encontrados em ambientes interiores.

2.1.1. Histórico

A preocupação com a QAI começou a crescer por volta da década de 1970. No Brasil, mais especificamente, o tema ganhou uma maior projeção na década de 1990.

Uma crise energética mundial na década de 70 impulsionou a construção dos chamados edifícios selados, ou seja, edifícios com poucas ou nenhuma entrada de ar natural. Esses edifícios surgiram como uma maneira de racionalizar energia através de um ganho na eficiência dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Dessa forma, escritórios e residências passaram a ser construídos visando uma vedação térmica mais eficiente. Porém, a construção desses ambientes fechados dificulta as trocas de ar entre os ambientes interno e externo, o que ocasiona um aumento na concentração dos poluentes no ar interior (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999; GIODA; AQUINO NETO, 2003; SCHIRMER et al., 2011).

Ao mesmo tempo, houve um aumento no uso de uma diversidade de produtos de construção, acabamento e mobiliário que contêm substâncias químicas passíveis de serem dispersas no ar (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

O aumento na concentração de poluentes em ambientes internos ocasionou o aumento das queixas relacionadas à qualidade do ar interior, principalmente nos países de clima frio (WHO, 1982 apud GIODA; AQUINO NETO, 2003). Consequentemente, estudos começaram a ser desenvolvidos em diversos países mostrando que o ar interior pode estar mais poluído que o ar externo em algumas localidades (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

No Brasil, o primeiro levantamento sobre a poluição química do ar de interiores foi realizado em 1993. Foram avaliados escritórios, hotéis e restaurantes nas cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas, mostrando que, em várias localidades, os níveis de poluentes estavam acima dos limites estipulados por legislações internacionais (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

Em Novembro de 1995 foi instituída a Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle da Qualidade do Ar de Interiores (BRASINDOOR) com o objetivo de promover o intercâmbio de diferentes especialidades na QAI (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999). A BRASINDOOR tem sido responsável pela divulgação (através de cursos, congressos, publicações, etc) da maioria dos trabalhos referentes à QAI realizados no Brasil (GIODA; AQUINO NETO, 2003).

O tema ganhou projeção na mídia em 1996, quando o Governo Federal proibiu o fumo em lugares fechados de uso coletivo (SCHIRMER et al., 2011), chamando a atenção para o mal que certos poluentes decorrentes de atividades humanas podem causar à vida humana.

Outro fato que motivou a preocupação com a QAI no Brasil foi a morte, em 1998, do então ministro das Comunicações, Sérgio Motta. Ele morreu devido a uma pneumonia rara, causada por uma bactéria do gênero *Legionella*, que pode ser encontrada em sistemas de refrigeração de ar condicionado sem manutenção. Após o falecimento do ministro, o Ministério da Saúde aprovou uma portaria que obrigava os edifícios climatizados a fazer a limpeza periódica nos sistemas de ar condicionado (O MAL QUE VEM PELO AR, 2004).

Porém, a falta de incentivo à pesquisa na área e a escassez de legislação específica limitam o desenvolvimento do tema no Brasil (SCHIRMER et al., 2011).

2.1.2. Síndrome dos Edifícios Doentes (SED)

Sabe-se que a má qualidade do ar interior está associada ao aumento da incidência de certas doenças e à Síndrome dos Edifícios Doentes (SED) (SCHIRMER et al., 2011).

A SED ou *Sick Building Syndrome* (SBS), classificada pela OMS como um problema de saúde pública (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999), é definida, segundo a OMS, como

uma situação na qual os ocupantes ou usuários de um prédio específico apresentam sintomas sem origem determinada e sem a possibilidade de constatação de uma determinada etiologia, sendo, portanto, desconhecida (WHO, 1989 apud SCHIRMER et al., 2011, p. 3584).

Inicialmente, essa síndrome era associada a ambientes com ar condicionado, porém, estudos recentes mostram que a SED pode ser também observada em ambientes com ventilação natural (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

Quando um edifício está “doente” os sintomas sentidos pelos ocupantes devido à baixa QAI podem produzir altas taxas de absenteísmo e redução na produtividade, o que traz perdas econômicas (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999; LUENGAS et al., 2015).

De acordo com a OMS, até 30% dos edifícios comerciais novos ou remodelados têm altas taxas de reclamações dos ocupantes sobre saúde e conforto que podem ser potencialmente relacionadas com a qualidade do ar interior (EPA, 1995).

Alguns fatores devem ser observados para que se possa constatar um caso de SED (BURROUGHS; HANSEN, 2011):

- 20% ou mais dos indivíduos devem apresentar sintomas (porcentagem definida pela ASHRAE);
- Os desconfortos devem durar mais de duas semanas;
- Os sintomas devem desaparecer quando os ocupantes deixam o edifício.

Os principais sintomas associados à SED são: irritação e secura na garganta e nas membranas dos olhos, desidratação e irritação da pele, irritação e obstrução nasal, dor de cabeça, letargia e cansaço generalizado, o que leva à perda de concentração (WHO, 1982 apud GIODA; AQUINO NETO, 2003).

Um problema intimamente relacionado com a SED são as chamadas Doenças Relacionadas ao Edifício (DRE) ou *Building Related Illness* (BRI), em inglês (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

A principal diferença entre SED e DRE é que a DRE é uma doença que pode ser clinicamente diagnosticada e está relacionada a um poluente ou fonte específica (EPA, 1995). Já a SED se apresenta como um conjunto de sintomas relacionados à ocupação do edifício, mas que não são relacionados a nenhuma doença ou fonte específica (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999; EPA, 1995).

Além dos mesmos sintomas associados à SED, existem algumas DRE que causam reações alérgicas e/ou infecções. São elas (BURROUGHS; HANSEN, 2011):

- Alergias: asma, rinite;
- Pneumonite Hipertensiva: doença respiratória geralmente causada pela inalação de poeiras orgânicas que causa inflamação dos pulmões (EPA, 1995);
- Febre dos Umidificadores: doença respiratória que se desenvolve a partir de exposições a toxinas de microorganismos, especialmente daqueles que se proliferam nos sistemas de ventilação dos edifícios (SCHIRMER et al., 2011);
- Infecções: doença dos legionários, febre pontíaca, tuberculose, infecções por fungos ou virais.

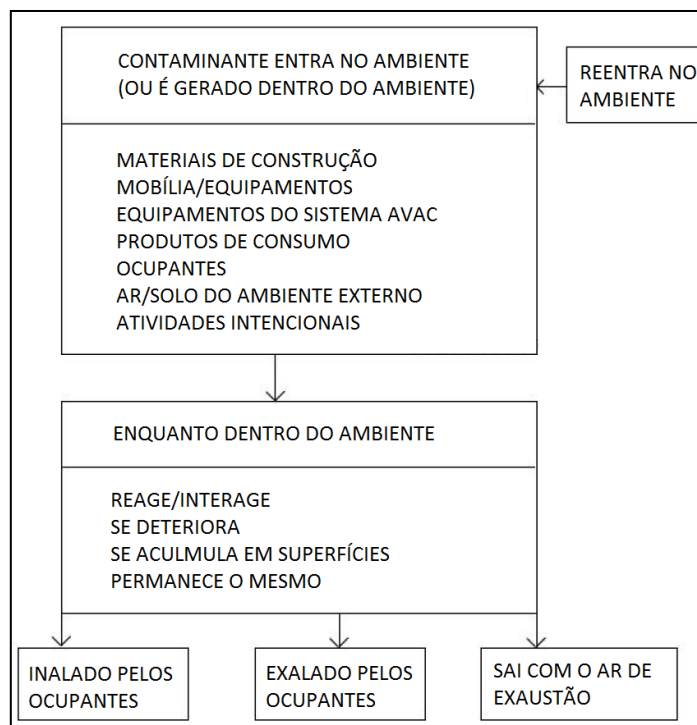
A Doença dos Legionários ou Mal dos Legionários é causada pela bactéria gram-negativa do gênero *Legionella*(SCHIRMER et al., 2011). É uma infecção que pode ocasionar pneumonia se for disseminada a partir de um ponto amplificador para uma zona em que se encontre presente um potencial hospedeiro. As torres de arrefecimento, condensadores de evaporação e sistemas de água quente podem ser considerados zonas de amplificação para a *Legionella* que é disseminada no ar por aerossóis (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Entre os meses de julho e agosto deste ano (2015), uma epidemia da Doença dos Legionários na cidade de Nova York, nos Estados Unidos, matou 10 (dez) pessoas e deixou mais de 90 (noventa) pessoas hospitalizadas. Os mortos eram pessoas já de certa idade e apresentavam outros problemas de saúde. A bactéria foi encontrada nos sistemas de ar condicionado de vários edifícios da cidade (CHEGA, 2015).

2.1.3. Poluentes em Ambientes Interiores: Fontes e Efeitos

Os poluentes presentes em um ambiente interno podem ser gerados dentro do próprio ambiente ou no ambiente externo e serem transportados através do sistema de ventilação, seja ele natural ou artificial (BURROUGHS; HANSEN, 2011). A Figura 1 mostra como se dá o fluxo dos poluentes dentro de um ambiente.

Figura 1 - Fluxo de poluentes dentro de um ambiente.



Fonte: adaptado de BURROUGHS; HANSEN (2011).

Existem diversas fontes de poluentes em ambientes internos. Em residências, as principais são equipamentos que realizam combustão, materiais de construção, mobília, isolantes contendo asbestos, móveis feitos com madeira prensada, carpetes, materiais de limpeza, sistema de AVAC, umidificadores de ar, ar externo contendo poluentes, roupas, cortinas, dentre outros (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999; EPA, 1995).

Os próprios ocupantes dos edifícios, ao desenvolverem suas atividades metabólicas e ao servirem como meios de transporte para microorganismos, acabam sendo fontes de poluentes. Além disso, fumantes acabam contribuindo de maneira significativa para uma má QAI (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

A importância de uma única fonte vai depender da quantidade de poluentes que ela emite e do grau de periculosidade dos poluentes. Além disso, a manutenção e a conservação de alguns equipamentos tem um papel fundamental para evitar a emissão de poluentes. Um fogão a gás sem manutenção, por exemplo, vai emitir mais produtos de combustão incompleta, como monóxido de carbono (CO), do que o mesmo fogão se estivesse bem conservado (EPA, 1995).

Os efeitos da exposição a poluentes em ambientes internos podem se manifestar logo após a exposição ou até anos mais tarde. Os sintomas imediatos mais comuns são irritação nos olhos, no nariz e na garganta, dores de cabeça, tontura e fadiga. Porém, dependendo do poluente, alguns sintomas de doenças mais graves, como asma, pneumonia hipertensiva e febre do umidificador também podem aparecer logo após a exposição (EPA, 1995).

Os efeitos que aparecem somente anos após a exposição ou após longos ou repetidos períodos de exposição incluem doenças respiratórias e de coração e câncer, e podem deixar sérias sequelas ou até serem fatais (EPA, 1995).

Vale ressaltar que as reações variam de indivíduo para indivíduo e dependem da concentração dos poluentes no ar, do grau de exposição ao poluente (frequência, tempo de exposição), dentre outros fatores.

A seguir, serão discutidos os poluentes gasosos e particulados mais comuns em ambientes internos.

2.1.3.1. Material Particulado (MP)

Os materiais particulados são partículas sólidas ou líquidas em suspensão no ar, com um diâmetro que varia de 0.005 a 100 μm . No entanto, apenas partículas com diâmetros que variam de 0.1 a 10 μm constituem uma fonte de perigo para a saúde humana. Partículas menores que 0.1 μm são geralmente inaladas, enquanto que partículas superiores a 10 μm são facilmente filtradas pelo sistema respiratório superior (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

As principais fontes de MP em ambientes internos são os equipamentos que realizam combustão e a fumaça de cigarro. Nos edifícios de serviços, a concentração média de partículas encontrada em ambientes onde não se pode fumar é de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Já em áreas para fumantes, a concentração varia de 30 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

O ambiente externo também constitui uma fonte importante de MP. Essas partículas são transportadas para o interior do edifício por infiltração natural e/ou pelas entradas de ar (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

A inalação de MP causa danos principalmente ao sistema respiratório dos indivíduos (SCHIRMER et al., 2011). Uma exposição a níveis excessivos de MP causa sintomas como olhos secos, irritações no nariz e na pele, tosse, espirros e dificuldade de respirar (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Além dos sintomas já citados, outro problema é que algumas partículas são capazes de absorver gases poluentes do ar e, quando inaladas, acabam transportando esses poluentes para os pulmões (SCHIRMER et al., 2011). O radônio e o benzo [a] pireno, por exemplo, que são poluentes cancerígenos, podem se associar a pequenas partículas que são inaladas e levadas para dentro do pulmão (EPA, 1995).

Algumas classes de materiais particulados são detalhadas a seguir.

- **Amianto**

O amianto, também conhecido como asbestos, era comumente utilizado até a década de 70 como isolante térmico e acústico, além de funcionar como um material à prova de fogo. Atualmente, materiais contendo asbestos são bastante utilizados na construção civil em cimento armado, telhados, etc (BURROUGHS; HANSEN, 2011). Porém, em alguns países o uso do amianto já foi completamente banido. Na França, por exemplo, asbestos não pode mais ser utilizado desde 1997 (ANSES, 2013 apud LUENGAS et al., 2015).

O amianto torna-se um risco à saúde dos ocupantes de um ambiente quando os materiais que o contêm são manuseados de forma incorreta, aumentando a sua concentração no ambiente (EPA, 1995).

Apesar de não serem observados sintomas imediatos à exposição a asbestos, três doenças de longo prazo têm sido associadas à inalação de fibras de asbestos (principalmente as mais finas, que são as mais perigosas): asbestose (fibrose pulmonar irreversível que pode ser fatal), mesotelioma e câncer de pulmão (BURROUGHS; HANSEN, 2011; EPA, 1995).

- **Bioaerosol**

O termo bioaerosol inclui tanto patógenos (fungos, bactérias e vírus) quanto alergênicos (pólen, restos de insetos, pelos/penas, saliva e fezes de animais, mofo, dentre outros).

As fontes de bioaerosol em ambientes internos são locais que favorecem a sua proliferação e/ou acúmulo, como tapetes, telhados, adesivos de parede, mobília, cortinas, travesseiros, sistemas de AVAC quando não higienizados, água parada, dentre outros. Pessoas, animais e plantas também podem ser fontes de bioaerossóis (BURROUGHS; HANSEN, 2011; EPA, 1995).

A urina de rato também pode ser uma fonte de bioaerosol. A proteína presente na urina de ratos é um alergênico potente. Quando a urina seca, essa proteína pode se espalhar pelo ar (EPA, 1995).

Os bioaerossóis também podem ser trazidos do ambiente externo para o ambiente interno junto com o ar que entra no prédio. Como os bioaerossóis são, na maioria dos casos, pequenos, eles podem passar pelo sistema de filtração de ar condicionados sem serem retidos (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

Além da existência dessas fontes de contaminação, certas condições ambientais favorecem a proliferação de microrganismos em ambientes internos, como valores de umidade elevados, ventilação reduzida, disponibilidade de nutrientes e temperatura adequada ao desenvolvimento do microrganismo (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009). Sabe-se, por exemplo, que uma umidade relativa entre 30 e 50% é geralmente recomendada para se evitar o crescimento de contaminantes biológicos em residências (EPA, 1995).

A poeira doméstica, por exemplo, é maior em ambientes úmidos e quentes e é a fonte de um dos mais poderosos alergênicos, o ácaro (EPA, 1995).

A exposição de indivíduos a bioaerossóis causa consequências diversas, destacando-se infecções, reações alérgicas e irritantes, resultando em desconforto perda de produtividade e absenteísmo, doença, dentre outros (WHO, 1998 apud FILHO et al., 2000). Crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios, alergias e doenças pulmonares são particularmente suscetíveis a agentes biológicos causadores de doenças (EPA, 1995).

- **Fumaça de Cigarro**

A fumaça de cigarro é uma mistura de mais de 4000 compostos, sendo que mais de 40 desses compostos são cancerígenos para seres humanos e animais (EPA, 1995).

Dores de cabeça, irritação de curta duração nos olhos, nariz e garganta, doenças respiratórias (como asma) e de coração (sobretudo em grupos mais sensíveis, como crianças e idosos) são alguns dos sintomas associados à exposição à fumaça de cigarro (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009; SCHIRMER et al., 2011).

Crianças expostas diariamente à fumaça de cigarro têm um risco maior a infecções no trato respiratório inferior, como pneumonia e bronquite, e são mais passíveis aos sintomas de irritação nas vias respiratórias, como tosse e excesso de catarro (EPA, 1995).

Crianças asmáticas estão sujeitas a um risco ainda maior. Segundo a EPA, a exposição de crianças asmáticas à fumaça de tabaco aumenta o número de crises. Além disso, milhares de crianças saudáveis desenvolvem o problema todo ano devido à inalação passiva da fumaça de tabaco (EPA, 1995).

2.1.3.2. Vapores e Gases

- **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)**

Os compostos orgânicos voláteis são a classe de compostos mais comumente estudada em ambientes internos (TUCKER, 2004 apud ALVES; ACIOLE, 2012), principalmente porque, em geral, os COVs são encontrados em concentrações mais elevadas em ambientes internos do que no ar externo (ALVES; ACIOLE, 2012).

Existem algumas definições para COVs disponíveis na literatura. A EPA possui uma definição voltada especificamente para ambientes interiores, que é a seguinte: COVs são compostos químicos orgânicos, cuja composição torna possível para eles evaporar sob condições normais de temperatura e pressão em ambientes internos, ou seja, sob as condições normalmente encontradas em ambientes ocupados por pessoas (EPA, 2015).

A OMS classifica os compostos orgânicos presentes em ambientes interiores em três categorias: muito voláteis, voláteis e semi voláteis (Tabela 1). Quanto maior a volatilidade (menor ponto de ebulição), mais provável será a emissão desses compostos no ar (EPA, 2015).

Os compostos orgânicos muito voláteis são geralmente encontrados como gases no ar, enquanto os compostos orgânicos semi voláteis são mais encontrados em sólidos ou líquidos que os contêm ou em superfícies, incluindo poeira, mobiliário e materiais de construção (EPA, 2015).

Tabela 1 - Classificação da OMS para compostos orgânicos quanto ao ponto de ebulição.

Descrição	Abreviatura	Faixa de Ebulição (°C)	Exemplos
Muito volátil (gás)	COMV	< 0 a 50-100	Propano, butano, clorometano
Volátil	COV	50-100 a 240-260	Formaldeído, limoneno, tolueno, acetona, etanol (álcool etílico), 2-propanol (álcool isopropílico), hexanal
Semi volátil	COSV	240-260 a 380-400	Pesticidas (DDT, clordano, plastificantes (ftalatos), retardadores de fogo (PCBs, PBB))

Fonte: adaptado de EPA (2015).

Neste trabalho, o termo COV será estendido aos compostos orgânicos semi voláteis e aos compostos orgânicos muito voláteis.

Os COVs são emitidos por alguns sólidos e líquidos e a sua concentração em ambientes internos pode ser até 10 vezes maior do que em ambientes externos, pois eles são compostos essenciais na constituição de muitos produtos e materiais utilizados no cotidiano das pessoas (EPA, 2015).

Alguns exemplos de produtos muito utilizados no dia a dia que podem conter COVs são: tintas e vernizes, materiais de limpeza, cosméticos, odorizadores de ar, pesticidas, materiais de construção e mobiliário, copiadoras e impressoras, plásticos, fumaça de cigarro, algumas colas e adesivos (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009; EPA, 2015).

Todos esses produtos podem emitir COVs quando estão sendo manuseados ou, até certo ponto, quando estão sendo armazenados (EPA, 2015). Os fungos também podem produzir COVs durante um período de crescimento rápido e de elevada atividade (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

A Tabela 2 mostra os principais COVs encontrados em ambientes interiores e suas principais fontes.

Tabela 2 - COVs e suas principais fontes em ambientes interiores.

Substância	Fontes
Acetona	Tintas, revestimentos, acabamentos, solventes de tintas, diluidores, vedação
Hidrocarbonetos alifáticos (octano, decano, ndecano, hexano, i-decano, misturas, etc)	Tintas, adesivos, gasolina, fontes de combustão, fotocopiadoras com processo líquido, carpetes, linóleo, componentes de vedação
Hidrocarbonetos aromáticos (tolueno, xileno, etilbenzeno, benzeno)	Fontes de combustão, tintas, adesivos, gasolina, linóleo, revestimento de parede
Solventes clorados	Artigos de limpeza ou de proteção de tapeçarias e carpetes, tintas, solventes de tintas, solventes, fluido de correção, roupas lavadas a seco
Acetato de n-butil	Telha acústica do teto, linóleo, compostos de vedação
Diclorobenzeno	Carpetes, cristais de naftalina, odorizadores de ar
4-fenil ciclohexano (4-PC)	Carpetes, tintas
Terpenos (limoneno, α -pineno)	Desodorizantes, produtos de limpeza, polidores, tecidos de decoração, emoliente, cigarros

Fonte: AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2009).

COVs podem causar irritações nos olhos, nas vias respiratórias e na pele, dores de cabeça, enjoo, danos ao fígado vômitos e fadiga (EPA, 2015; SCHIRMER et al., 2011). Em concentrações muito elevadas, alguns compostos orgânicos voláteis podem causar alterações das funções neurocomportamentais e levar ao desenvolvimento de câncer (SCHIRMER et al., 2011).

- **Gases Inorgânicos**

Os gases inorgânicos são representados principalmente pelo monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx) e o dióxido de enxofre (SO₂).

As principais fontes desses gases em ambientes internos são equipamentos que realizam combustão (como fogões e lareiras), fumaça de cigarro e o ar externo de entrada, onde sua principal fonte é o gás de exaustão dos veículos (BURROUGHS; HANSEN, 2011; EPA, 1995; LUENGAS et al., 2015).

O principal efeito do CO na saúde do ser humano está relacionado ao seu poder asfixiante. O CO tem 250 vezes mais afinidade com a hemoglobina do sangue que o próprio oxigênio. Portanto, quando inalado, o CO se une à hemoglobina, reduzindo a quantidade de hemoglobina disponível para carregar O₂ para as células do corpo humano, o que vem a causar a anoxia (falta de oxigênio) nos indivíduos (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

Os principais sintomas da anoxia são tontura, fortes dores de cabeça, enjoo, zunido no ouvido e palpitações (BURROUGHS; HANSEN, 2011). A inalação de altas concentrações de monóxido de carbono pode causar danos ao sistema nervoso central (SNC), ao cérebro e ao sistema circulatório, levar à inconsciência e até à morte (BURROUGHS; HANSEN, 2011; EPA, 1995).

Os óxidos de nitrogênio incluem NO, NO₂, N₂O, OONO, ON(O)O, N₂O₄ e N₂O₅. Dentre estes, o que tem os efeitos à saúde humana mais conhecidos é o dióxido de nitrogênio (NO₂) (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

A inalação desse gás, que não tem cor nem cheiro, causa sintomas como: falta de ar, irritação nas membranas mucosas dos olhos, da garganta e do nariz, infecções respiratórias e danos ao pulmão, podendo vir a causar enfisema pulmonar nos indivíduos expostos continuamente a altos níveis desse gás (BURROUGHS; HANSEN, 2011; EPA, 1995). Há evidências de que altos níveis de NO₂ em escolas contribuem para reduzir a frequência escolar dos alunos (PEGAS et al., 2010).

Já os principais sintomas relacionados à exposição ao SO₂ são dificuldade em respirar, irritação na garganta e nos olhos e tosse (WHO, 2000 apud LUENGAS et al., 2015). Em casos de exposição crônica, pode levar à diminuição da função pulmonar (SCHIRMER et al., 2011).

- **Radônio**

O radônio, gás inodoro e incolor cujo tempo de meia vida é de 3,8 dias, é um gás radioativo originado a partir do decaimento do elemento químico rádio que, por sua vez, é originado a partir do decaimento do urânio. O decaimento do radônio, por sua vez, dá origem a elementos radioativos conhecidos como “filhas” ou “descendentes” do radônio (por exemplo, polônio, chumbo radioativo e bismuto (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009)). São essas filhas do radônio que representam uma ameaça à QAI (BURROUGHS; HANSEN, 2011). O radônio em si é um gás quimicamente inerte e não reage com os tecidos do corpo humano (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

O tempo de meia vida dos descendentes do radônio é de apenas 30 minutos. Portanto, quando inaladas, essas partículas sofrem um rápido decaimento, liberando energia radioativa que pode danificar os tecidos do corpo humano onde estiverem associadas. Como aproximadamente 30% das partículas inaladas são depositadas no pulmão, esse órgão é um dos mais prejudicados (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

A principal fonte de radônio em ambientes internos é o urânio presente no solo em que o prédio foi construído (EPA, 1995). Portanto, há uma preocupação maior com níveis elevados de radônio em regiões cujo solo é rico em urânio (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

O gás radônio geralmente entra no prédio através de rachaduras nas paredes e no piso, tubulações, drenos e reservatórios de água. Fontes menos comuns, mas que também podem levar à entrada de radônio no ambiente, são água de poço e materiais de construção que liberam radônio. Porém, esses materiais de construção sozinhos raramente causam problemas de poluição (EPA, 1995).

Algumas condições interferem no fluxo de radônio para o interior do prédio. A concentração de urânio, a permeabilidade e a umidade do solo, por exemplo, são fatores que influenciam. Outro fator são as condições do prédio. A qualidade, o *design*, e o tipo de fundação

do prédio são alguns exemplos. As diferenças de pressão entre o prédio e o ambiente externo também influenciam o fluxo de radônio para o seu interior (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

Por exemplo, a concentração de radônio em ambientes internos é normalmente mais baixa durante o verão, para a maioria dos climas. No verão as janelas e portas ficam abertas por um maior período de tempo, o que aumenta o fluxo de ar no ambiente e tende a equalizar diferenças de pressão (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

Apesar de não haver sintomas imediatos à exposição ao radônio, sabe-se que, quando absorvidos na cavidade pulmonar, a longo prazo, os descendentes do radônio podem aumentar o risco ao câncer de pulmão. Esse risco é maior ainda para ex-fumantes e, principalmente, fumantes (WHO, 2010; BURROUGHS; HANSEN, 2011).

A inalação do radônio presente no ar é a segunda maior causa de câncer de pulmão nos Estados Unidos, ficando atrás apenas do cigarro (EPA, 1995). Estima-se que cerca de 19000 mortes por ano sejam causadas, nos Estados Unidos, pela exposição ao radônio dentro de residências (HOPKE apud GERALDO et al., 2005).

- **Ozônio (O_3)**

O ozônio é um gás instável que ocorre naturalmente na atmosfera. Normalmente, as concentrações de ozônio no interior de edifícios variam de 10 a 80% da concentração desse gás na atmosfera (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Pode-se concluir, portanto, que a principal fonte de ozônio em ambientes interiores é o ar atmosférico. Porém, também existem muitas fontes de ozônio no interior dos ambientes como, por exemplo, geradores de ozônio, purificadores de ar eletrostáticos, fotocopiadoras e impressora a laser (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Em concentrações baixas, o O_3 pode causar dor no peito, tosse, respiração acelerada e irritação na garganta. Ele também pode agravar doenças crônicas, como a asma, prejudicar a capacidade do organismo em combater infecções respiratórias e ocasionar problemas respiratórios mesmo em pessoas saudáveis (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

A reação do ozônio com certas moléculas orgânicas encontradas em ambientes interiores pode gerar produtos com tempos de vida curtos que são altamente irritantes e podem ser tóxicos e carcinogênicos (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

- **Formaldeído (HCHO)**

O formaldeído é um gás incolor e irritante. Sua presença pode ser percebida quando em concentrações acima de 0,2 ppm devido ao seu odor irritante (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Algumas fontes de formaldeído em ambientes internos são materiais de construção, fumaça de cigarro, produtos de limpeza, equipamentos que realizam combustão, colas e adesivos usados em roupas e cortinas. É também utilizado como conservante em algumas tintas e produtos de revestimento (EPA, 1995).

Possivelmente, a fonte de formaldeído mais significativa em casas são os produtos de madeira prensada feitos como o uso de adesivos que contêm resina de ureia-formaldeído (UF). Exemplos bem conhecidos de madeira prensada incluem o MDP (*medium density particleboard*), utilizado como prateleiras e em armários e móveis, e o MDF (*medium density fiberboard*), utilizado em frentes de gaveta, armários e tampos de móveis. Este último (MDF) é geralmente reconhecido como o produto de madeira prensada com o mais alto teor de UF e que, portanto, mais emite formaldeído (EPA, 1995).

Geralmente, a emissão de formaldeído por produtos como os de madeira prensada e os tecidos diminui com o tempo. Produtos mais novos tendem a emitir mais formaldeído que produtos mais velhos. Além disso, altos valores de umidade e temperatura podem contribuir para aumentar a emissão de formaldeído quando os produtos são novos (EPA, 1995).

Os principais sintomas associados à exposição ao formaldeído incluem garganta seca, dores de cabeça, fadiga, problemas de memória e de concentração, náuseas, vertigens, falta de ar, ardor nos olhos, sensibilização das mucosas, dentre outros. Os efeitos irritantes do formaldeído são notados quando em concentrações superiores a 0.5 ppm. Porém, indivíduos sensíveis são afetados por concentrações inferiores a 0.01 ppm (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Altas concentrações podem desencadear ataques em pessoas com asma. Além disso, sabe-se que ele pode causar câncer em animais e é provável que possa causar o mesmo efeito em humanos (EPA, 1995).

2.2. Conforto Ambiental

Além da concentração de poluentes, diversos outros fatores contribuem para que um indivíduo se sinta confortável em um ambiente. Esses fatores, que não os contaminantes, são enquadrados numa categoria conhecida como *Indoor Environmental Quality* (IEQ), ou qualidade de ambientes interiores. O conforto ambiental é um destes fatores.

O conforto ambiental é um conceito subjetivo, que varia de indivíduo para indivíduo. Dentro de um mesmo ambiente, podem existir indivíduos que estejam se sentindo ambientalmente confortáveis e outros que se sintam desconfortáveis por alguma razão. Satisfazer todos os ocupantes de um ambiente é uma tarefa praticamente impossível (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Existem alguns parâmetros de conforto ambiental que são utilizados para avaliar se as condições do ambiente são favoráveis para que a maioria dos indivíduos se sinta confortável. Como a sensação de conforto varia de pessoa para pessoa, os valores recomendados para alguns parâmetros são faixas de valores, e não valores precisos.

Os parâmetros de conforto ambiental mais usados são: iluminação, ruído/vibração e parâmetros físicos como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e taxa de renovação do ar. A seguir, serão apresentados alguns desses parâmetros.

2.2.1. Conforto Térmico

De acordo com a ASHRAE (2004), conforto térmico é a condição psicológica que expressa satisfação com relação às condições térmicas de um ambiente.

A sensação de conforto térmico depende de fatores físicos (trocas de calor entre o corpo e o meio), fisiológicos (resposta fisiológica do organismo), psicológicos (diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo) e sociológicos (sexo, idade, extrato sociocultural, adaptação ecológica às regiões, etc.) (LAMBERTS et al., 2014; RODRIGUES et al., 2009).

Para que um indivíduo esteja em uma situação de conforto térmico, é importante que a condição de neutralidade térmica seja satisfeita (LAMBERTS et al., 2014).

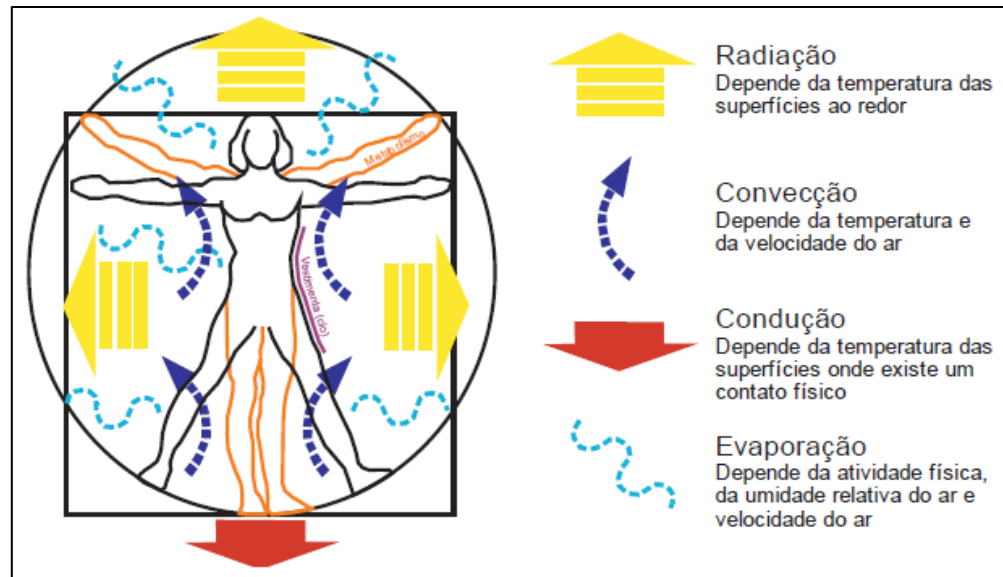
A condição de neutralidade térmica é

o estado físico no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo seja trocado em igual proporção com o ambiente ao seu redor, não havendo nem acúmulo de calor e nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante (LAMBERTS et al., 2014, p. 4).

Ou seja, o corpo do indivíduo está em equilíbrio térmico com o ambiente e o indivíduo não prefere sentir nem mais frio e nem mais calor (LAMBERTS et al., 2014).

De acordo com Rodrigues et al. (2009), as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente podem se dar por condução, convecção, respiração e evaporação. Na Figura2 podem-se observar os mecanismos de trocas térmicas pelos quais ocorre a dissipação do calor gerado pelo corpo humano enquanto desempenha suas atividades.

Figura 2 - Representação esquemática da fisiologia humana e trocas térmicas.



Fonte: LAMBERTS et al. (2014).

Como se pode observar, o corpo recebe calor pelo metabolismo e perde calor através da respiração e da pele (LAMBERTS et al., 2014).

Assim como o conforto ambiental em geral, o conforto térmico também é uma sensação subjetiva, dependente de grandes variações fisiológicas e psicológicas de indivíduo para indivíduo (ASHRAE, 2004), e, portanto, é impossível satisfazer termicamente todos os ocupantes de um ambiente. Dessa forma, procura-se criar condições de conforto que satisfaçam a maior parte dos ocupantes (LAMBERTS et al., 2014).

Uma análise de conforto ambiental realizada por Ochoa et al. (2012) em salas de aula, por exemplo, mostrou que, mesmo em ambientes onde os dados de temperatura e umidade relativa estejam dentro de padrões de conforto estabelecidos, uma análise da percepção dos indivíduos pode mostrar um resultado diferente.

A sensação de conforto térmico depende de alguns fatores, tais como (ASHRAE, 2004; RODRIGUES et al., 2009):

- Fatores dependentes do ambiente: temperatura, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa.

- Fatores pessoais (dependentes do tipo de ocupação): nível da atividade desenvolvida pelo indivíduo e tipo de vestuário utilizado pelo indivíduo.

- Temperatura e Temperatura Radiante Média:

A temperatura do ar em um ambiente pode ser mensurada de duas maneiras. A temperatura de bulbo úmido é medida por um termômetro de mercúrio envolvido em algodão ou gaze molhada submetido a uma corrente de ar. A corrente de ar facilita a evaporação da água do algodão, saturando o ar da sua vizinhança(RODRIGUES et al., 2009).

A temperatura de bulbo seco é a temperatura do ar úmido (ar seco + vapor de água). É medida por um termômetro de mercúrio no ar (sem algodão molhado ou corrente de ar).A evaporação da água consome uma certa quantidade de calor latente do meio, fazendo com que a temperatura de bulbo úmido seja sempre inferior à temperatura de bulbo seco(RODRIGUES et al., 2009).

A temperatura do ar tem um impacto significativo no conforto e, portanto, na percepção da qualidade do ar de interiores. Um ambiente com uma temperatura muito elevada, além de causar um grande desconforto, se associado a uma elevada umidade, facilita a disseminação de microrganismos além de poder favorecer reações químicas secundárias entre compostos químicos presentes no ar (LUENGAS et al., 2015).

Já a temperatura radiante média é a média das temperaturas das superfícies dos elementos que compõem um ambiente (RODRIGUES et al., 2009, p.2).

- Velocidade do Ar:

A velocidade do ar também influencia na sensação de conforto térmico dos ocupantes de um ambiente. Uma velocidade muito baixa pode causar desconforto trazendo uma sensação de calor para os ocupantes. Por outro lado, uma ventilação com uma velocidade do ar muito elevada pode incomodar os ocupantes, prejudicando o conforto (VIEGAS, 2010). A Tabela 3 mostra a sensação de resfriamento causada em um indivíduo para diferentes valores de velocidade do ar.

Tabela 3 - Sensação de resfriamento causada por diferentes velocidades do ar.

Velocidade do Ar (m/s)	Sensação de Resfriamento (°C)
0,1	~0 (ar parado)
0,3	1
0,7	2
1,0	3
1,6	4
2,2	5
3,0	6
4,5	7
6,5	8

Fonte: MACINTYRE (1990).

- Umidade Relativa:

A temperatura e a umidade do ar são duas das variáveis ambientais que mais afetam o conforto e podem ser controladas pelo sistema de climatização que equipa o edifício (RODRIGUES et al., 2009).

De acordo com Rodrigues et al. (2009, p. 8), a umidade relativa do ar é “a relação entre a massa de vapor de água contida num m³ de ar úmido e a massa de vapor de água que o mesmo conteria se fosse saturado à mesma temperatura e pressão”.

Quando se conhecem os valores da pressão parcial do vapor de água e da pressão de saturação do vapor de água para as mesmas condições de temperatura, a UR do ar pode ser calculada através da Equação 1 (RODRIGUES et al., 2009):

$$UR = \frac{P_w}{P_s} \quad (1)$$

Onde:

P_w = pressão parcial do vapor de água;

P_s = pressão de saturação do vapor de água para as mesmas condições de temperatura.

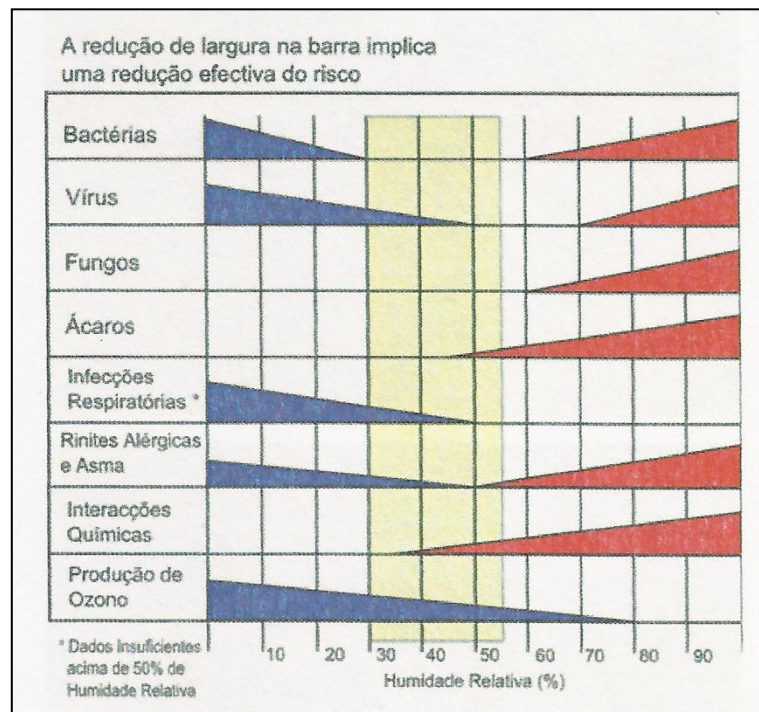
Para se minimizar o risco ao desenvolvimento de bactérias, vírus, fungos, ácaros e microrganismos em geral, a umidade relativa deve estar compreendida entre 30 e 55%, como mostra a Figura 3.

O excesso de umidade, além de provocar a degradação dos materiais, que tem sido considerada o principal fator de risco para os casos de problemas respiratórios, também contribui para o crescimento de microorganismos (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Já umidade relativa inferior a 25% está associada ao aumento do desconforto e secura das membranas mucosas e pele, o que pode causar algum tipo de irritação (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Valores de umidade relativa baixos também causam o aumento da eletricidade estática, que causa desconforto e pode dificultar o uso de equipamentos eletrônicos (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Figura 3 - Efeito da umidade relativa na saúde das pessoas.



Fonte: VIEGAS (2010).

- Nível de Atividade e Tipo de Vestuário:

O conforto na habitação também vai depender do tipo de ocupação, traduzido pelo nível de atividade realizada e pelo tipo de vestuário utilizado pelos ocupantes (RODRIGUES et al., 2009).

É a atividade desempenhada pela pessoa que vai determinar a quantidade de calor gerado pelo organismo (LAMBERTS et al., 2014), como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Metabolismo em função da atividade desenvolvida.

Atividade	W	met*
Repouso	80-100	0,8-1,0
Atividade Sedentária	100-120	1,0-1,2
Trabalho leve	140-180	1,4-1,8
Trabalho médio	200-300	2,0-3,0
Ginástica	300-400	3,0-4,0
Desporto de competição	400-600	4,0-6,0

Fonte: RODRIGUES et al. (2009).

Nota: *1 met = 58,15 W/m²; área média do corpo humano A = 1,75 m².

O tipo de vestuário comumente utilizado pelos ocupantes de um ambiente também vai influenciar na sensação de conforto térmico dos indivíduos. Isso pode ser exemplificado, por exemplo, pela mudança na faixa de temperatura para que um indivíduo se sinta confortável de acordo com o tipo de vestimenta utilizado. Para pessoas nuas, por exemplo, a zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 29°C e 31°C. Já para pessoas vestidas com vestimenta normal de trabalho, a zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 23° e 27°C (LAMBERTS et al., 2014).

A vestimenta tem a função de criar uma resistência térmica entre o corpo e o ambiente. Essa resistência térmica pode ser expressa pelo Índice de Isolamento Térmico da Roupas (Icl), cuja unidade mais comumente utilizada é o clo (SILVA, 2010). A Tabela 5 mostra a resistência térmica oferecida por diferentes tipos de vestuário utilizados pelos indivíduos.

Tabela 5 - Resistências térmicas dos vestuários.

Tipo de Vestuário	Icl	
	clo*	m ² .°C/W
Nu	0	0
Calções	0,1	0,016
Vestuário tropical	0,3	0,047
Vestuário leve, de verão	0,5	0,078
Vestuário de trabalho	0,7	0,124
Vestuário de inverno	1,0	0,155
Terno completo	1,5	0,233

Fonte: RODRIGUES et al. (2009).

Nota: *1 clo = 0,155 m².°C/W.

Com o objetivo de se avaliar o efeito conjunto dos fatores que afetam o conforto térmico e encontrar condições que satisfaçam a maioria dos ocupantes de um dado ambiente, surgiram alguns modelos de conforto ambiental. Esses modelos são agrupados em dois grandes grupos: o modelo adaptativo e o modelo estático.

O modelo adaptativo foi proposto em 1979 por Michael Humphreys, supondo que as pessoas adaptam-se diferentemente aos ambientes (LAMBERTS et al., 2014).

A abordagem adaptativa tem como base os conceitos de aclimação, e os fatores considerados podem incluir, além de fatores físicos e psicológicos, características inerentes à demografia (gênero, idade, classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas) (LAMBERTS et al., 2014).

O principal representante da linha analítica (modelo estático) de avaliação das sensações térmicas humanas é Ole Fanger, que realizou diversos experimentos na Dinamarca sobre conforto térmico. Suas equações e métodos têm sido utilizados mundialmente e serviram de base para a elaboração de normas internacionais importantes, fornecendo subsídios para o equacionamento e cálculos analíticos de conforto térmico, conhecidos hoje como PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) (LAMBERTS et al., 2014).

O Modelo PMV/PPD é um método gráfico utilizado para encontrar a faixa de temperaturas operativas em um determinado ambiente com características conhecidas. Este método considera

que a porcentagem de pessoas insatisfeitas no ambiente (PPD) é menor que 10% e que o voto médio previsível (PMV) é maior que -0,5 e menor que +0,5. Isso significa que se o PMV e o PPD estão nessa faixa de valores, então as condições estão dentro da zona de conforto térmico (ASHRAE, 2004).

Para se utilizar este modelo, a taxa metabólica deve variar entre 1.0 met e 2.0 met e o índice de isolamento do vestuário deve ser menor ou igual a 1.5 clo. Além disso, a velocidade do ar não deve ultrapassar os 0,20 m/s (ASHRAE, 2004).

O PMV pode variar de -3 a +3, como mostra a escala de sensação térmica da Tabela 6.

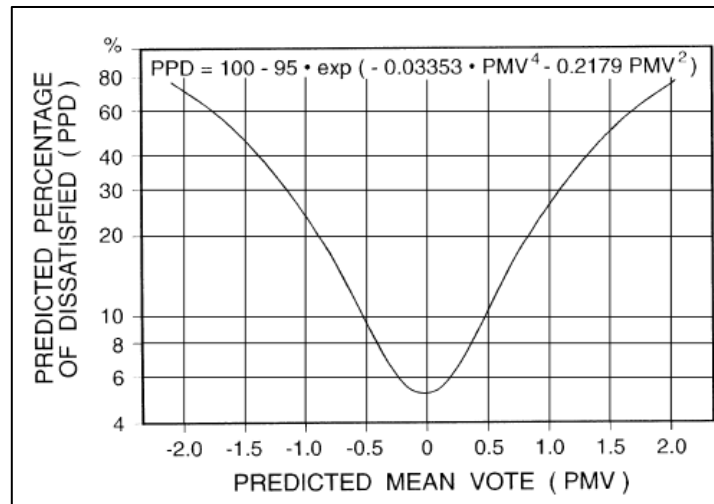
Tabela 6 - Sensação térmica de acordo com o valor do PMV.

Valor do PMV	Sensação Térmica
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: adaptado de ASHRAE (2004).

O PMV pode ser calculado considerando as condições do ambiente, o nível de atividade e o tipo de vestuário utilizado pelos ocupantes. É função da taxa de metabolismo e do acúmulo de calor do corpo, que por sua vez considera a própria taxa de metabolismo, as perdas de calor por convecção e radiação entre a superfície do corpo vestido e o ambiente, o calor perdido por difusão do vapor através da pele e por evaporação do suor à superfície da pele, o calor sensível e latente perdido pela respiração (RODRIGUES et al., 2009). A relação entre PMV e PPD pode ser observada no gráfico da Figura 4.

Figura 4 - Relação entre PMV e PPD.



Fonte: ASHRAE (2004).

Essa relação também é expressa pela Equação 2 (RODRIGUES et al., 2009):

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0.03353 * PMV^4 + 0.21798 PMV^2)} \quad (2)$$

Pelo gráfico e pela equação, pode-se concluir que, quaisquer que sejam as condições ambientais, pelo menos, 5% dos indivíduos estarão termicamente desconfortáveis (RODRIGUES et al., 2009).

2.2.2. Ventilação, Taxa de Renovação do Ar e Sistemas de AVAC

O controle das fontes de poluentes é a maneira mais efetiva de manter o ar interno limpo, porém nem sempre praticável. A ventilação (natural ou mecânica) é a segunda maneira mais eficiente em proporcionar condições aceitáveis de ar interno (CARMO; PRADO, 1999).

É através da ventilação que ocorre a renovação do ar, isto é, a remoção dos poluentes e da umidade produzidos durante as atividades realizadas nos edifícios e o fornecimento do oxigênio necessário para o metabolismo humano e para aparelhos de combustão (VIEGAS, 2010).

De maneira geral, os processos que envolvem a ventilação são: a entrada de ar externo, o condicionamento e mistura do ar por todas as partes do edifício e a exaustão de uma parcela do ar interno (CARMO; PRADO, 1999).

Assim como a ventilação pode funcionar como uma importante ferramenta para melhorar a QAI, uma ventilação inadequada pode aumentar a concentração de poluentes em ambientes internos e afetar a saúde e o conforto dos ocupantes, pois não há entrada de ar externo suficiente para diluir as emissões de poluentes das fontes internas e nem o ar interno poluído é retirado do ambiente a uma taxa satisfatória (EPA, 1995). É importante assegurar também que o ar de entrada não apresente, ele mesmo, um nível de poluição ou de impurezas que o torne ineficaz (RODRIGUES et al., 2009). O Instituto Nacional de Segurança Ocupacional e Saúde relata que uma ventilação pobre e inadequada é um fator que contribui de maneira importante em muitos casos de SED (CARMO; PRADO, 1999).

A frequência com que ocorrem essas trocas de ar entre os ambientes interno e externo pode ser expressa por um fator chamado taxa de renovação do ar. Esta pode ser expressa de duas maneiras: número de trocas por tempo e volume de ar externo que entra e sai do prédio por tempo (EPA, 1995).

Conhecendo-se os valores das exigências de qualidade do ar (disponíveis em leis, guias e normas) e as taxas de produção interna dos poluentes, podem-se estabelecer os valores de taxa de renovação do ar exigíveis para garantir a satisfação das exigências (RODRIGUES et al., 2009). A Tabela 7 mostra a taxa mínima de renovação do ar exigida pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), em Portugal, para ambientes residenciais e escolas. A Tabela 8 mostra as recomendações da ASHRAE para valores de taxa de renovação do ar de acordo com o tipo de ambiente.

Tabela 7 - Taxa mínima de renovação do ar de acordo com o RSECE.

Tipo de Ambiente		Valores Mínimos de Taxa de Renovação do Ar (m³/h/ocupante)
Residências	Sala de estar e quartos	30
Escolas	Salas de aula	30
	Laboratórios	35
	Auditórios	30
	Bibliotecas	30

Fonte: adaptado de RODRIGUES et al. (2009).

Tabela 8 – Recomendações da ASHRAE para taxa de renovação do ar em trocas por hora.

Recinto	Taxa de Renovação (trocas/h)
Escritórios	6-20
Salas de conferência	25-30
Pequenas oficinas	8-12
Salas de depósito	2-15
Cozinhas	10-30
Garagens	6-30
Equipamentos mecânicos	8-12
Fundações	5-20
Pinturas e polimentos	18-22
Restaurantes	6-20
Sanitários	8-20

Fonte: MACINTYRE (1990).

Um bom indicador da renovação do ar interior é a concentração de CO₂ no ambiente. O dióxido de carbono é um componente do ar externo, mas ele pode ser produzido internamente e seu excesso, sua acumulação interna, pode indicar uma ventilação inadequada (CARMO; PRADO, 1999).

Apesar de ser um poluente perigoso para o ar atmosférico por causar diversos efeitos negativos ao meio ambiente, em ambientes internos o CO₂ não é comumente associado a efeitos adversos à saúde humana. No entanto, pesquisas têm mostrado que sintomas nas membranas

mucosas e no trato respiratório inferior podem estar associados a um aumento na diferença entre a concentração de CO₂ no ambiente interno e no ambiente externo no decorrer de um dia de trabalho (ERDMANN; APTE, 2004 apud LUENGAS et al., 2015).

Esse gás incolor e inodoro é gerado, em ambientes internos, principalmente durante o processo de respiração dos ocupantes. Quando estão executando tarefas leves, as pessoas exalam, em média, 0.3 L/min de CO₂ (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

A Tabela 9 apresenta as produções de CO₂ associadas à atividade ocupacional dos edifícios e a Figura 5 mostra o consumo de oxigênio e a produção de CO₂ em função do metabolismo.

As concentrações de CO₂ em ambientes interiores também variam de acordo com o local, hora do dia, tendendo a aumentar durante o dia. Os níveis normalmente encontrados variam entre 600 e 800 ppm (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

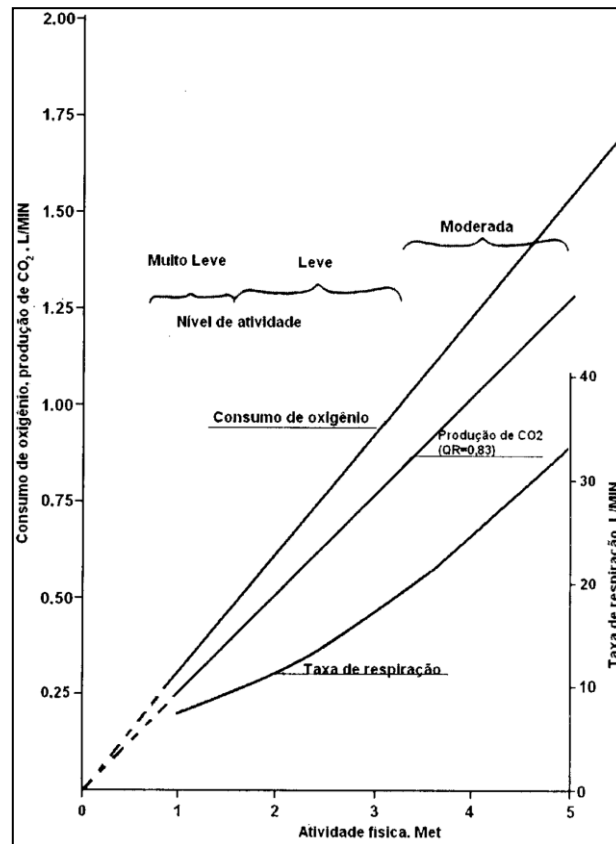
Porém, os níveis de CO₂ como indicadores de QAI devem ser usados com precaução. A premissa básica é de que, se o sistema de ventilação do ambiente não é eficiente em remover CO₂ do ambiente, outros gases poluentes podem estar se acumulando. No entanto, mesmo com níveis de CO₂ baixos, pode haver alguma fonte de contaminação interior elevada (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Tabela 9 - Produção de CO₂ de acordo com a atividade metabólica realizada.

Atividade	Metabolismo (W)	Produção de CO₂ (L/s)
Repouso	100	0,0040
Trabalho leve	160 a 320	0,0064 a 0,0128
Trabalho moderado	320 a 480	0,0128 a 0,0192
Trabalho pesado	480 a 650	0,0192 a 0,0260
Trabalho muito pesado	650 a 800	0,0260 a 0,320

Fonte: adaptado de RODRIGUES et al. (2009).

Figura 5 - Taxa de respiração, consumo de oxigênio e produção de CO₂ em função do metabolismo.



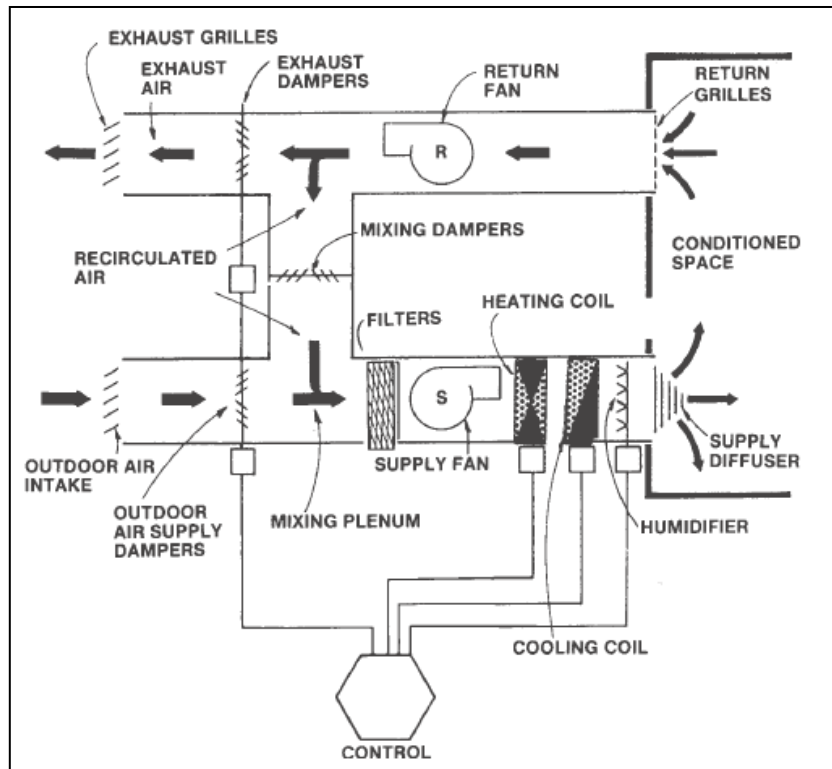
Fonte: ABNT (2008c).

Na ausência de ventilação natural, os sistemas mecânicos de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) são, muitas vezes, a única porta de entrada e saída de ar em um ambiente.

O principal objetivo de um sistema de AVAC é fornecer um ambiente confortável para os seus ocupantes. Para atingir esse objetivo, os serviços oferecidos por um sistema de AVAC podem incluir desde o aquecimento, resfriamento e o fornecimento de ar externo até a filtração e distribuição e difusão de ar (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

A Figura 6 mostra os principais componentes de um típico sistema AVAC e a Tabela 10 mostra as funções de cada um desses componentes.

Figura 6 - Componentes de um sistema de ventilação mecânica.



Fonte: BURROUGHS; HANSEN (2011).

Tabela 10- Componentes de um sistema AVAC típico e suas respectivas funções.

Componente	Função
Controle (Control)	Controlar a operação dos outros componentes para que sejam alcançados o conforto e a qualidade do ar desejados da maneira mais energeticamente eficiente possível.
Serpentinas de Resfriamento (Cooling Coil)	Utilizadas somente em sistema de ar condicionado, as serpentinas de resfriamento servem para resfriar e desumidificar o ar.
Amortecedores (Dampers)	Controlar a vazão de ar de recirculação, de entrada, de saída e de mistura. Os amortecedores trabalham em conjunto.
Grelhas de exaustão e de tomada de ar (Exhaust & Intake Grilles/ Louvers)	Montadas nas paredes externas, essas grelhas permitem a descarga do ar de exaustão e a tomada de ar externo. É comum serem utilizadas telas para impedir a entrada de animais como pássaros, ratos e cobras, no sistema.
Filtros (Filters)	Filtrar partículas e contaminantes biológicos do ar para proteger o sistema AVAC em si e limpar o ar que respiramos.
Serpentinas de aquecimento (Heating Coil)	Utilizadas para aquecer o ar de entrada em sistemas de aquecimento.
Umidificador (Humidifier)	Quando se faz necessário, é utilizado para injetar vapor de água no ambiente para aumentar a umidade relativa do ar.
Grelha de ar de retorno (Return Air Grill)	É por onde ocorre a saída de ar do ambiente, para garantir a circulação.
Ventilador de retorno (Return Fan)	É ele que puxa (suga) o ar de exaustão dos ambientes e o conduz para os dutos de evacuação e mistura.
Difusores de suprimento/caixas terminais (Supply Diffuser)	Fornecer o ar condicionado às áreas ocupadas, evitando a formação de correntes.
Ventilador de suprimento (Supply Fan)	O ar de mistura é soprado através dos filtros e das serpentinas de aquecimento / resfriamento, em direção ao umidificador e, finalmente, para as caixas terminais.

Fonte: BURROUGHS; HANSEN (2011).

O sistema AVAC funciona como o pulmão de um edifício. Sabe-se que a efetividade desse sistema afeta o desempenho, a produtividade e a saúde dos ocupantes de um ambiente. Logo, é de fundamental importância que esse sistema seja devidamente projetado, operado e mantido. Se o sistema AVAC de um ambiente for mal projetado e/ou se não ocorrer uma adequada operação/manutenção, as principais funções desse sistema (filtrar, diluir e exaurir os poluentes) podem ser prejudicadas. Se isso ocorrer, os poluentes presentes no ar externo podem ser trazidos para dentro do edifício e se acumular juntamente com os poluentes gerados no interior do edifício, pondo em risco a QAI. Além disso, ele passa a ser uma fonte de poluição perigosa, principalmente de contaminação biológica (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

Estudos recentes têm mostrado que o sistema AVAC é responsável por 50 a 60% dos problemas de QAI gerados em edifícios. Ao mesmo tempo, o sistema AVAC tem a capacidade de resolver até 80% dos problemas do ar interior (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

As principais dificuldades relacionadas ao projeto de um sistema AVAC são:

- Ventilação e distribuição;
- Filtração inadequada;
- Diferença de pressão entre os ambientes interno e externo; e
- Acesso para manutenção das partes do sistema.

Muitos dos projetos dos sistemas AVAC utilizados hoje em dia foram criados numa época em que a principal preocupação era o controle da temperatura. O controle da umidade e a preocupação com a QAI geralmente eram deixados de lado. Desde os anos 1970, vem crescendo o interesse em projetar o sistema AVAC a fim de melhorar a QAI do ambiente. Em particular, o foco tem sido aumentar o volume de ar externo introduzido no ambiente, melhorar a efetividade na distribuição do ar e os procedimentos de limpeza do ar. Durante os últimos 20 anos, vem surgindo também uma preocupação com a eficiência energética do sistema. Os sistemas AVAC são projetados para garantir o menor consumo de energia possível. O custo do equipamento em si também é levado em consideração (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

2.3. Legislação

Não existe ainda um consenso mundial quanto aos valores limites de concentração de poluentes em ambientes internos, variando de país para país (RODRIGUES et al., 2009). O mesmo ocorre para os parâmetros de conforto ambiental.

A seguir, serão apresentadas as principais normas e guias nacionais e internacionais referentes aos limites máximos de poluentes em ambientes internos e aos valores recomendados dos principais parâmetros de conforto ambiental.

2.3.1. Nacional

A Resolução CONAMA nº 05 de 15 de junho de 1989 foi o primeiro instrumento jurídico brasileiro a estabelecer normas com relação à poluição atmosférica (ambiente externo). Ela instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida, limitando as emissões de alguns poluentes atmosféricos por tipo de fonte emissora. Para complementar esta Resolução, foram criadas mais três Resoluções do CONAMA: as Resoluções nº 03 e nº 08 de 1990 e a Resolução nº 436 de 2011.

Porém, essas Resoluções tratam de fontes de poluição externas e qualidade do ar atmosférico.

O primeiro instrumento jurídico brasileiro a tratar da qualidade do ar de interiores em específico foi a Portaria nº 3523, de 28 de agosto de 1998 do Ministério da Saúde, com foco em ambientes climatizados de uso coletivo.

Essa Portaria aprova Regulamento Técnico, a ser elaborado pelo Ministério da Saúde, que deverá conter pré-requisitos para projetos de instalação, execução, manutenção e limpeza de sistemas de climatização que garantam uma boa QAI.

Esse Regulamento Técnico deverá estabelecer também valores limites de tolerância e métodos de controle de poluentes de natureza física, química e biológica e conter medidas específicas referentes a padrões de qualidade do ar, no que diz respeito à definição de parâmetros físicos e composição química do ar de interiores.

Esta Portaria estabelece ainda algumas medidas básicas que devem ser tomadas para garantir a QAI e a saúde dos ocupantes, como:

- Limpeza dos componentes dos sistemas de climatização;
- Manutenção de filtros;
- Utilização de filtro classe G1 (filtro grosso com eficiência de 60 a 74% - Anexo A), no mínimo, para tomada de ar externo;
- Garantia de uma adequada renovação do ar (mínimo 27m³/h/pessoa); e
- Elaboração de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) para sistemas de climatização com capacidade acima de 5 TR (15000 kcal/h = 60000 BTU/h).

Em 24 de outubro de 2000, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou a Resolução nº 176, que veio a ser revisada e atualizada em 2003, dando origem à Resolução nº 09, de 16 de janeiro de 2003.

A RE/ANVISA nº 09 dispõe de orientações técnicas sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, no que diz respeito:

- à definição de valores máximos recomendáveis (VMR) para contaminação biológica, química e parâmetros físicos do ar interior (Tabela 11);
- à identificação das fontes poluentes de natureza biológica, química e física além de recomendações para seu controle; e
- aos métodos de medição de bioaerosol, dióxido de carbono, temperatura, umidade e velocidade do ar e aerodispersóides.

Tabela 11 - VMR pela RE/ANVISA nº 09.

Parâmetro	VMR
Fungos	750 ufc/m ³ para I/E* ≤ 1.5 Obs.: É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos.
CO ₂	1000 ppm
Aerodispersóides	80 µg/m ³
Temperaturas de Bulbo Seco	Verão: 23°C a 26°C Inverno: 20°C a 22°C
Umidade Relativa	Verão: 40% a 65% Inverno: 35% a 65%
Velocidade do ar a 1.5m do piso	0.25 m/s
Taxa de Renovação do Ar	≥ 27 m ³ /h/pessoa
	≥ 17 m ³ /h/pessoa (para ambientes com alta rotatividade)

Fonte: ANVISA (2003).

Nota: *I/E: relação entre a quantidade de fungos no ambiente interior (I) e no ambiente exterior (E).

Com relação aos Sistemas de AVAC, esta Resolução, assim como a Portaria nº 3523 do Ministério da Saúde, obriga à utilização de filtros da classe G1 (filtro grosso com eficiência de 60 a 74% - Anexo A) na captação de ar exterior. A RE/ANVISA nº 09 complementa os padrões estabelecidos pela Portaria nº 3523 recomendando a utilização de filtros, no mínimo, de classe G3 (filtro grosso com eficiência mínima de 85% - Anexo A) nos condicionadores de sistemas centrais, minimizando o acúmulo de sujidades nos dutos e reduzindo os níveis de material particulado no ar insuflado, garantindo o grau de pureza do ar. Além disso, esta Resolução estabelece a periodicidade dos procedimentos de limpeza e manutenção de alguns componentes do sistema de climatização do ambiente, como apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Recomendações da RE/ANVISA nº 09 quanto aos procedimentos de manutenção e limpeza de sistemas AVAC.

Componente	Periodicidade
Tomada de ar externo	Limpeza mensal ou quando descartável até sua obliteração (máximo 3 meses)
Unidades filtrantes	Limpeza mensal ou quando descartável até sua obliteração (máximo 3 meses)
Bandeja de condensado	Mensal
Serpentina de aquecimento	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Serpentina de resfriamento	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Umidificador	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Ventilador	Semestral
Plenum de mistura/casa de máquinas	Mensal

Fonte: ANVISA (2003).

O valor máximo de 1000 ppm estabelecido para concentração de CO₂ no ambiente é estimado com base na recomendação da ASHRAE de que o valor da concentração de CO₂ em ambientes internos não exceda em mais de 700 ppm a concentração do ambiente externo, ou seja, considera-se que o ambiente externo tem um valor de 300 ppm de concentração desse gás.

A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), publicou, em 2003, uma Resolução Normativa (RN 02) que estabelece diretrizes de projeto, operação e manutenção para a obtenção de ar interior (não inclui ambientes com exigências específicas, como indústrias e hospitais) de qualidade aceitável também para ambientes climatizados. A Tabela 13 mostra as recomendações desta RN para alguns parâmetros.

Tabela 13 - Recomendações da RN 02 da ABRAVA.

Parâmetro	Recomendação
Fungos	<750 ufc/m ³ para I/E < 1.5 Obs.: É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos.
CO ₂	<3500 ppm para ocupação permanente.
	<700 ppm acima da concentração de CO ₂ no ar exterior de renovação. Obs.: a concentração de CO ₂ no ar exterior é normalmente da ordem de 350 ppm, podendo alcançar 500 ppm em áreas urbanas com tráfego intenso de veículos automotores ou outras fontes de combustão. Portanto, no ar interior, poderá variar de 1050 ppm a 1200 ppm (muito inferior ao valor máximo recomendado para ocupação permanente - 3500 ppm).
Partículas totais em suspensão	<60 µg/m ³
Formaldeído	<120 µg/m ³ (0.10 ppm)
Qualidade do ar exterior de renovação	Deve obedecer aos padrões primários* estipulados pela Resolução CONAMA nº 03 de 1990 (Anexo B).
Tomadas de ar exterior	Devem ser localizadas de forma a evitar a contaminação do ar. Quando localizadas em paredes, devem ser situadas a não menos de 2.2 m do solo. Em topos de edifícios, devem estar situadas a não menos de 0.9 m do telhado.
Umidade Relativa	30 a 60%

Fonte: ABRAVA (2003).

Nota: *Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população (CONAMA, 1990a).

Esta RN estabelece ainda os tipos de filtros(Anexo A) a serem utilizados nos sistemas de condicionamento de ar:

- G3 (mínimo) instalado na entrada do condicionador;
- G3 + F2 (recomendado): G3 na entrada do condicionador e F2 instalado na saída do condicionador;

- Para proteção antibacteriana recomenda-se o uso de filtros tratados com produto antibacteriano aprovado pelas autoridades sanitárias;
- Não é recomendável operar os filtros com vazão superior a 10 ou 15% de sua vazão nominal.

A ABNT publicou algumas normas que fazem recomendações a cerca de sistemas AVAC, como as NBR 16401, 15848, 14679 e 13971.

- **NBR 16401 (2008)**

Esta NBR é dividida em três partes, que são subdivisões de um tema principal: Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Todas elas aplicam-se a sistemas centrais de qualquer capacidade e a sistemas unitários com capacidade nominal total (soma da capacidade nominal de todos os condicionadores autônomos instalados na mesma edificação) de, no mínimo, 10 KW.

A NBR 16401-1 trata dos parâmetros básicos e dos requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar condicionado.

A NBR 16401-2 especifica os parâmetros do ambiente interno provido de sistema de ar condicionado que proporcionem conforto térmico a, no mínimo, 80% dos seus ocupantes. A Tabela 14 mostra essas recomendações.

A NBR 16401-3 trata dos parâmetros básicos e requisitos mínimos para sistemas de ar condicionado a fim de se obter um ambiente com QAI aceitável. Ela estabelece um nível mínimo de taxa de renovação do ar de acordo com o tipo de ambiente, como pode ser visto na Tabela 15. Também dá algumas especificações quanto à arquitetura da sala de máquinas para garantir o fácil acesso aos equipamentos e a segurança das pessoas que irão fazer a manutenção dos equipamentos ali presentes.

Tabela 14 - Valores recomendados pela NBR 16401-2 para alguns parâmetros de conforto térmico.

Parâmetro	Valor Recomendado	
	Verão (roupa típica de 0,5 clo)	Inverno (roupa típica de 0,9 clo)
Temperatura e Umidade Relativa	22,5 a 25,5 °C para UR de 65% 23,0 a 26,0 °C para UR de 35%	21,0 a 23,5 °C para UR de 60% 21,5 a 24 °C para UR de 30%
Velocidade do Ar	$\leq 0,20$ m/s para distribuição de ar convencional $\leq 0,25$ m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento	$\leq 0,15$ m/s para distribuição de ar convencional $\leq 0,20$ m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento

Fonte: ABNT (2008b).

Tabela 15 - Recomendações da NBR 16401-3 para taxa de renovação do ar.

Ambiente	Número de pessoas (pessoas/100m²)	Taxa Mínima de renovação do ar (L/s*pessoa)
Sala de reunião	50	2,5
Sala de aula	35	5
Laboratório de informática	25	5
Laboratório de ciências	25	5
Biblioteca	10	2,5
Escritório	11	2,5

Fonte: adaptado de ABNT (2008c).

A Tabela 16 mostra a classe mínima de filtragem recomendada por esta norma a depender do tipo de ambiente. Recomenda-se que o ar, além de filtrado, seja resfriado e desumidificado a fim de reduzir a carga de condensados na unidade.

Tabela 16 - Classe mínima de filtragem a ser utilizada de acordo com o tipo de ambiente.

Ambiente	Classe (Anexo C)
Sala de reunião	F5
Residências	G3
Salas de impressão	G3 + F7
Biblioteca (área do público)	F5
Escritório	F5

Fonte: adaptado de ABNT (2008c).

Esta norma recomenda ainda que a captação de ar exterior seja o mais afastada possível de potenciais fontes de poluição. A Tabela 17 mostra as distâncias mínimas recomendadas de acordo com a fonte de poluição.

Tabela 17 - Distância mínima de possíveis fontes de poluição.

Fonte de Poluição	Distância Mínima Recomendada
Entrada de garagens estacionamentos ou <i>drive-in</i>	5 m
Docas de carga e descarga estacionamento de ônibus	7,5 m
Estradas, ruas com pouco movimento	1,5 m
Estradas, ruas com tráfego pesado	7,5 m
Telhados, lajes, jardins ou outra superfície horizontal	1,5 m
Depósitos de lixo e área de colocação de caçambas	5 m
Locais reservados a fumantes (fumódromos)	4 m
Torres de resfriamento	10 m

Fonte: ABNT (2008c).

- **NBR 15848 (2010)**

Esta norma estipula procedimentos e requisitos relativos às atividades de construção, reforma, modernização, operação e manutenção das instalações de ar-condicionado e ventilação para minimizar a propagação de poluentes e, assim, contribuir para a QAI.

Finalmente, existem ainda a NBR 14679, de 2010, e a NBR 13971, de 2014.

A NBR 14679 estabelece os procedimentos e as diretrizes mínimas para execução dos serviços de higienização corretiva de sistemas de tratamento e distribuição de ar caracterizados como contaminados por agentes microbiológicos, físicos ou químicos.

Já a NBR 13971 estabelece orientações básicas para as atividades e serviços necessários na manutenção de conjuntos e componentes, em sistemas e equipamentos de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento.

2.3.2. Internacional

Algumas organizações internacionais, como a NIOSH, OSHA, OMS, EPA e ASHRAE, elaboraram alguns documentos com recomendações para que se tenha um ambiente com padrões aceitáveis de QAI e conforto ambiental e que não interfira de forma negativa na saúde e qualidade de vida dos seus ocupantes.

Em 2010, a OMS publicou o documento intitulado *WHO Guidelines for IAQ: Selected Pollutants* que contém recomendações quanto a níveis seguros de alguns poluentes (benzeno, CO, formaldeído, naftaleno, NO₂, HPA, radônio, tricloroetileno e tetracloroetileno) em ambientes internos. O Anexo D apresenta uma Tabela com um resumo dessas recomendações.

Outros dois guias publicados pela OMS em 2009 e 2014, respectivamente são: *WHO Guidelines for IAQ: Dampness and Mould* e *WHO Guidelines for IAQ: Household Fuel Combustion*. O primeiro apresenta os efeitos à saúde humana devido à exposição à umidade excessiva e ao mofo e cita algumas medidas para controlar o aparecimento de fungos em ambientes internos. O segundo documento traz recomendações de como reduzir a emissão de gases produzidos por equipamentos que realizam combustão em ambientes internos, com base em um sistema de ventilação adequado.

Os guias elaborados pela OMS a respeito da QAI são aplicáveis aos vários níveis de desenvolvimento econômico, aos diferentes grupos de população e permitem abordagens práticas para reduzir os riscos à saúde causados pela exposição a diversos poluentes em várias regiões do mundo (WHO, 2010).

A EPA reúne em seu site oficial algumas recomendações quanto a níveis seguros de poluentes como CO, NO_x, contaminantes biológicos e formaldeído em ambientes internos.

Em 2012, a EPA publicou um documento intitulado *A Citizen's Guide to Radon* que contém recomendações de medidas que devem ser tomadas para redução do nível de radônio em casas quando esse nível for igual ou superior a 4 pCi/L (média anual). Porém, mesmo em casas onde a concentração de radônio é menor que 4 pCi/L, a EPA não descarta a possibilidade de risco à saúde humana (EPA, 2012).

O documento *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality* publicado pela EPA em 1995 dá algumas recomendações de como evitar a exposição de não fumantes à fumaça de tabaco e de como evitar a exposição a contaminantes biológicos.

A ASHRAE publicou duas normas que são adotadas no mundo todo com recomendações para se garantir ambientes interiores de qualidade aceitável.

A ASHRAE Standard 62.1-2010 especifica, dentre outros parâmetros, taxas mínimas de ventilação que vão garantir uma qualidade do ar interior aceitável para os indivíduos e que minimizem os efeitos adversos à saúde humana. Outras recomendações incluem:

- Projeto de um sistema de ventilação adequado;
- Instalação, operação e manutenção de um sistema de ventilação adequado;
- Limites de concentração e correspondentes tempos de exposição para alguns poluentes (Tabela 18).

Esta norma tem servido mundialmente como o principal guia para operação e manutenção de sistemas AVAC. Para projetos mais avançados, um guia bastante utilizado é o IAQDG publicado pela ASHRAE em 2009 (BURROUGHS; HANSEN, 2011).

A ASHRAE Standard 55 – 2004 especifica a combinação adequada dos fatores do ambiente interno e dos fatores pessoais que irão garantir o conforto térmico para a maioria dos ocupantes. Foi elaborada para indivíduos adultos realizando atividades de escritório em ambientes com ventilação mecânica, porém, realizando os ajustes necessários, pode ser estendida a outros grupos de indivíduos realizando outras atividades em ambientes naturalmente ventilados.

Tabela 18 - Máximo de concentração para alguns poluentes de acordo com a ASHRAE.

Poluente	Concentração Limite	Tempo de exposição médio
CO	9 ppm	8 h
Formaldeído (COV)	0.1 mg/m ³ (0.081 ppm)	30 min
	Aguda: 55 µg/m ³	1 h
	Crônica: 9 µg/m ³	Exposição contínua
Chumbo (Pb)	1.5 µg/m ³	3 meses
NO ₂	100 µg/m ³	1 ano
	470 µg/m ³	24 h (quando equipamentos que realizam combustão estiverem sendo usados)
O ₃	100 µg/m ³ (50 ppb)	8 h
PM _{2.5}	15 µg/m ³	
PM ₁₀	50 µg/m ³	1 ano
Radônio	4 pCi/L	1 ano
SO ₂	80 µg/m ³	1 ano
COV _T (Total)	Não existem evidências suficientes de que medidas de COV _T podem ser utilizadas como indicadores de efeitos no conforto ou na saúde das pessoas. Além disso, a sensibilidade a COV e ao odor tem uma grande variação de indivíduo para indivíduo. A ASHRAE não estabelece um valor limite para COV _T	
COV	A ASHRAE recomenda o estabelecimento de valores máximos para cada COV. Esses limites podem variar de 1 ppb para compostos altamente tóxicos a até valores muito mais altos	
Benzeno (COV)	Aguda: 1300 µg/m ³	1 h
	Crônica: 60 µg/m ³	Exposição contínua
Naftaleno (COV)	Aguda: -	1 h
	Crônica: 9 µg/m ³	Exposição contínua

Fonte: ASHRAE (2010).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho baseou-se na abordagem teórica do tema (QAI e Conforto Ambiental), além da parte prática que consistiu na avaliação de parâmetros de QAI e de Conforto Ambiental no prédio do Núcleo de Engenharia Ambiental (NEAM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Os parâmetros selecionados foram:

- Temperatura (T), umidade relativa (UR) e concentração de CO₂;
- Bioaerosol; e
- Taxa de renovação do ar.

Além da avaliação desses parâmetros, foi realizada uma análise qualitativa dos ambientes, procurando-se identificar as possíveis fontes internas de contaminação. Com relação à operação e manutenção do sistema de AVAC do prédio, mais especificamente com relação à higienização dos aparelhos de ar condicionado, foi feita uma comparação entre a atual realidade e os procedimentos recomendados por normas específicas.

Neste capítulo, serão descritos os métodos e equipamentos utilizados para a mensuração dos parâmetros propostos, além da metodologia utilizada para a análise qualitativa dos ambientes e uma descrição da área de estudo.

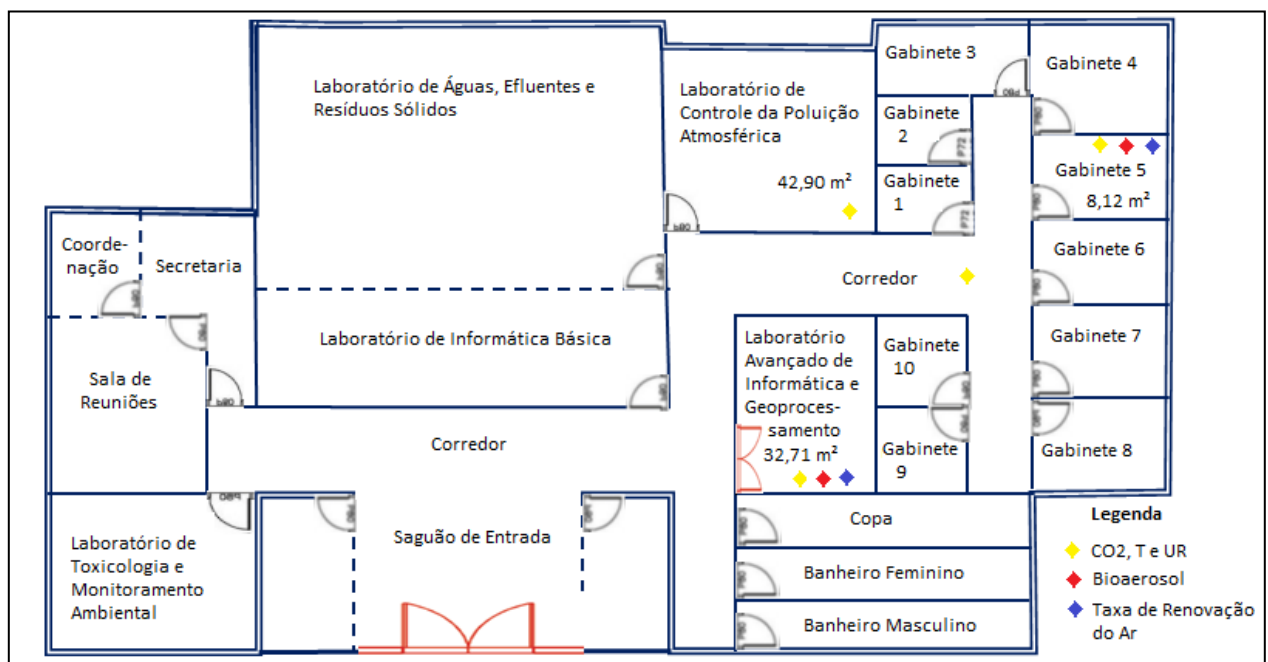
3.1. Descrição da Área de Estudo

O prédio do NEAM está localizado vizinho ao Centro de Vivência no campus de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. Este prédio possui apenas 01 (um) pavimento, com 3 (três) metros de altura, dividido entre saguão de entrada, secretaria, sala de reuniões, cinco laboratórios, dois banheiros, copa, dez gabinetes (sala de professor), além dos corredores de acesso. Todos os ambientes possuem sistema de condicionamento de ar (ar condicionado), exceto os banheiros, a copa, os corredores e o saguão de entrada.

Os recintos selecionados para medição dos parâmetros foram escolhidos com base na facilidade de acesso e no tipo de ambiente (ex.: laboratório, sala de professor, corredor). A Figura 7exibe uma planta baixa do prédio (sem escala) e mostra como os ambientes estão dispostos. Esta figura expõe também os parâmetros que foram analisados por ambiente.

É importante destacar que até 2014 este prédio era utilizado pelo Departamento de Engenharia Elétrica, passando a ser ocupado pelo NEAM em 2015.

Figura 7 - Planta baixa do prédio do NEAM e parâmetros avaliados em cada ambiente.



Como mostra a Figura 7, 4 (quatro) ambientes foram selecionados para a realização das medições:

- Laboratório de Controle da Poluição Atmosférica (LCPA);
- Gabinete 5;
- Corredor; e
- Laboratório Avançado de Informática e Geoprocessamento (LAGEO).

O Gabinete 5 foi avaliado quanto aos valores de temperatura, umidade relativa, concentração de CO₂, presença de fungos (bioaerosol) e taxa de renovação do ar. Este ambiente

funciona como uma sala de professor (escritório) e possui uma área de 8,12 m² (24,36 m³ de volume). Normalmente, é ocupado por apenas um indivíduo adulto.

Os valores de CO₂, T e UR foram aferidos também no corredor, mais especificamente na interseção do corredor dos laboratórios de controle da poluição atmosférica e de geoprocessamento com o corredor de acesso aos gabinetes. Esse local foi escolhido por ser um ambiente sem janelas e de grande circulação de pessoas, fatores que favorecem o acúmulo de poluentes gerados internamente.

Esses mesmos parâmetros foram analisados também no LCPA e no LAGEO. O LCPA possui uma área de 42,90 m² e é um ambiente com pouca circulação de pessoas. Já o LAGEO é um ambiente bastante utilizado devido às aulas que acontecem pela manhã e pela tarde nos dias de segunda e quarta. Possui uma área de 32,71 m² (98,13 m³ de volume) e tem capacidade para acomodar 22 alunos além do professor.

Para fins comparativos, o ambiente externo também foi analisado quanto aos valores de T, UR e concentração de CO₂. As medições eram realizadas sempre na sombra no ambiente em frente ao saguão de entrada.

Além dos ambientes já descritos, a QAI do prédio como um todo foi avaliada qualitativamente através da observação das prováveis fontes de contaminação presentes nos ambientes.

3.2. Temperatura, Umidade Relativa e Concentração de CO₂

Para a medição da concentração de CO₂, da temperatura e da umidade relativa dos ambientes selecionados seguiu-se a metodologia descrita pela Resolução nº 9 da ANVISA, de 2003.

Para as medições de concentração de CO₂, a Norma Técnica 002 da referida resolução foi utilizada como referência. Esta norma recomenda a utilização de um equipamento de leitura direta, por meio de sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica, com uma faixa de concentração que varie de 0 a 5000 ppm.

Os valores de temperatura e umidade relativa foram medidos de acordo com a Norma Técnica 003. Esta Norma recomenda a utilização de um equipamento de leitura direta do tipo termo-higrômetro com uma faixa de temperatura de 0 a 70°C e uma faixa de umidade de 5 a 95%.

De acordo com esta resolução da ANVISA, o número mínimo de amostras por ambiente é dependente da sua área de acordo com a Tabela 19.

Tabela 19 - Número mínimo de amostras recomendado de acordo com a área do ambiente.

Área Construída (m²)	Número Mínimo de Amostras
Até 1000	1
1000 a 2000	3
2000 a 3000	5
3000 a 5000	8
5000 a 10000	12
10000 a 15000	15
15000 a 20000	18
20000 a 30000	21
Acima de 30000	25

Fonte: ANVISA (2003).

Como os ambientes em que esses parâmetros foram analisados, em separado, têm uma área menor que 1000 m², apenas 01 (uma) amostra era necessária para cada ambiente por dia de medição.

O equipamento utilizado para aferir esses 03 (três) parâmetros foi um medidor portátil de CO₂, Temperatura e Umidade Relativa da marca *Instrutherm*, modelo C-02-03396, como o mostrado na Figura 8. Ele utiliza um sensor de CO₂ infravermelho NDIR (infravermelho não dispersivo) de comprimento de onda dupla (INSTRUTHERM, 2015). A Tabela 20 mostra as especificações técnicas do equipamento, que estão de acordo com a exigência da RE/ANVISA nº 9 de 2003.

Figura 8 - Medidor de CO₂, T e UR utilizado.



Fonte: INSTRUTHERM (2015).

Tabela 20 - Especificações técnicas do medidor de CO₂, T e UR utilizado.

Parâmetro	Escala	Resolução	Precisão
CO ₂	0 a 6000 ppm	1 ppm	± 3% de leitura ou ± 50ppm
Temperatura	- 20° a 60°C	0,1°C	± 1°C
Umidade Relativa	10 a 95%	1%	± 5%

Fonte: INSTRUTHERM (2015).

3.2.1. Medições Pontuais

Para que se pudessem avaliar as condições de conforto ambiental em diferentes ambiente do NEAM por meio de comparações com os valores recomendados pela legislação, foram realizadas medições pontuais de CO₂, T e UR no Gabinete 5, no LCPA, no LAGEO e no Corredor.

Para cada ambiente, foram feitas 10 (dez) medições em dias e horários diferentes entre os dias 03 de junho e 10 de novembro de 2015. O ambiente externo também foi analisado para fins de comparação.

No Gabinete 5, LCPA e LAGEO, esses parâmetros foram medidos tanto em situações em que o aparelho de ar condicionado estava desligado quanto em situações em que o equipamento estava ligado, na posição de controle de temperatura e velocidade da corrente de ar normalmente utilizada pelos ocupantes. Em todas as medições, as portas e janelas dos ambientes

permaneciam fechadas, já que é desta forma que os ambientes são sempre utilizados. Além disso, esperava-se um tempo com o medidor portátil ligado dentro ambiente até que os valores dos parâmetros estabilizassem. Apenas uma pessoa se encontrava nos ambientes nos horários de medição.

3.2.2. Monitoramento ao Longo do Dia

No Gabinete 5, além das medições pontuais, CO₂, T e UR foram monitorados ao longo de um dia, em horário normal de funcionamento do NEAM, a fim de se observar a variação desses parâmetro com o horário de medição. Nesse caso, o ar condicionado ficou ligado durante todo o tempo e a porta e as janelas do ambiente ficaram fechadas. O monitoramento foi realizado no dia 30 de julho de 2015 das 09h52min às 16h48min. Havia apenas uma pessoa dentro do recinto durante o monitoramento, exceto entre 11h53min e 13h20min, quando o ambiente foi desocupado, simulando o horário de almoço.

3.2.3. Influência do Número de Ocupantes

Para se analisar a influência do número de ocupantes na concentração de CO₂, T e UR do ambiente, foram realizados dois tipos de testes.

Primeiramente, foi realizado um monitoramento desses parâmetros no Gabinete 5 no dia 30 de outubro de 2015. Durante o monitoramento o aparelho de ar condicionado permaneceu ligado e a porta e as janelas ficaram fechadas. O teste consistiu em elevar o número de ocupantes no ambiente de uma para duas pessoas (adultos) e verificar as mudanças ocorridas com a entrada dessa segunda pessoa. Esperou-se um tempo com apenas um indivíduo no ambiente até que os parâmetros ficassem estáveis. Após a entrada da segunda pessoa, repetiu-se esse procedimento.

O segundo teste foi realizado no LAGEO no dia 10 de novembro de 2015 durante uma aula, a fim de avaliar a concentração de CO₂, T e UR em uma situação real de aula quando o número de ocupantes no recinto é elevado. Havia, no total, 12 indivíduos adultos no ambiente e a aula durou das 11h00min às 12h50min.

3.3. Bioaerosol

Para a amostragem de bioaerosol, foi utilizada uma metodologia adaptada da metodologia descrita na RE/ANVISA nº 9 de 2003, que se aplica a fungos viáveis (dispersos no ar do ambiente).

A Norma Técnica 001 desta resolução recomenda a utilização de um amostrador de ar por impactação com acelerador linear. Os meios de cultivo podem ser os seguintes: Agar Extrato de Malte, Agar Sabouraud Dextrose a 4%, Agar Batata Dextrose ou outro, desde que cientificamente validado. A taxa de vazão deve ser fixa entre 25 e 35 L/min e o tempo de amostragem pode ser de 5 a 15 minutos. O volume de ar amostrado deve estar compreendido entre 140 e 500 L.

3.3.1. Preparação do Meio de Cultura

O meio de cultivo utilizado foi o Agar Batata Dextrose. Para cada placa de Petri era preparada uma solução contendo 0,8 g do Agar Batata Dextrose e 20mL de água destilada. Esta solução, juntamente com a placa de Petri, eram autoclavadas a uma temperatura de 120 °C e pressão de 1 atm durante 15 minutos.

Após este procedimento, a solução era despejada na placa e esperava-se o tempo necessário para que o meio de cultivo solidificasse, formando uma substância gelatinosa (Figura 9), e atingisse a temperatura ambiente. Todo esse procedimento era realizado em um equipamento de fluxo laminar para que não houvesse a contaminação do meio.

Depois de preparadas, as placas eram seladas com filme de PVC e mantidas em geladeira até o momento do uso.

Figura 9 - Placa de Petri com meio de cultivo solidificado.



3.3.2. Coleta de Bioaerosol

Como não se dispunha de um impactador para a realização da coleta de bioaerosol, esta foi realizada pela simples abertura da placa de Petri com o meio de cultivo no ambiente onde se desejava verificar a presença de fungos. O tempo de amostragem foi de 7 min, tanto para o Gabinete 5 quanto para o LAGEO.

3.3.3. Contagem de Fungos

Após a coleta, as placas de Petri eram devidamente fechadas e colocadas em uma estufa, onde permaneciam durante 7 (sete) dias a 25 °C, como recomendado pela resolução da ANVISA. Após esse período, realizava-se a contagem dos micélios de fungos a olho nu.

A análise dos resultados baseou-se na simples verificação da presença ou ausência de fungos no ar nos ambientes selecionados.

3.4. Taxa de Renovação do Ar

Para os cálculos da taxa de renovação do ar, adotou-se uma metodologia análoga à descrita no livro *Indoor Air Quality Engineering: Environmental Health and Control of Indoor Pollutants*

de autoria de Heinsohn e Cimbala (HEINSOHN; CIMBALA, 2003). Este procedimento análogo foi elaborado por Nascimento (2008) e será descrito a seguir, com algumas adaptações, baseando-se no princípio de que o CO_2 é um bom indicador da renovação do ar no ambiente, como já explicado na Revisão da Literatura do presente trabalho.

Os ambientes selecionados foram o Gabinete 5 e o LAGEO e o equipamento utilizado para medição de CO_2 foi o mesmo descrito no item 3.2.

Primeiramente, simulou-se um evento, onde se elevou a concentração de CO_2 através da inserção proposital do gás no ambiente. Para isso, utilizou-se um cilindro pressurizado contendo o gás puro.

Após a concentração de CO_2 atingir um valor elevado desejado (pico de concentração de CO_2), parava-se de liberar o gás e iniciava-se a medição da sua concentração ao longo do tempo até que atingisse um valor estável.

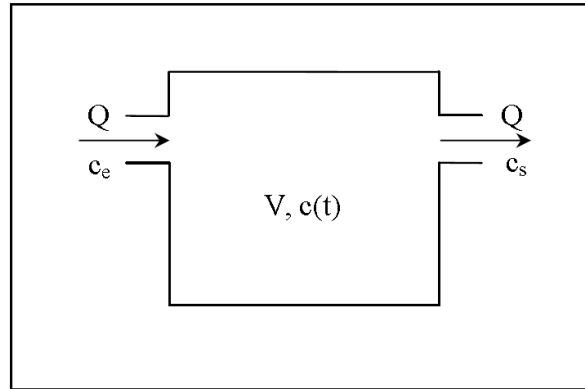
Conhecendo-se o volume do ambiente e o perfil da concentração de CO_2 ao longo do tempo, pode-se calcular a vazão de ar no ambiente através da resolução de uma equação resultante de um balanço de massa.

Para se chegar a essa equação, algumas considerações foram feitas:

- A concentração de CO_2 está igualmente distribuída em todo o ambiente e é a mesma da porção de saída;
- Não há fonte de emissão de CO_2 no interior do ambiente, além da fonte proposital;
- A densidade do ar é constante e possui o mesmo valor dentro e fora do ambiente; e
- As vazões de entrada e saída do ar são iguais.

A partir do esquema representado na Figura 10, pode-se chegar à equação do balanço de massa para determinação da vazão de CO_2 no ambiente.

Figura 10 - Representação dos elementos do balanço de massa nos ambientes selecionados.



Fonte: NASCIMENTO (2008).

Onde:

Q é a vazão de ar na entrada e na saída do sistema;

C_e é a concentração de CO_2 no ar exterior de entrada;

V é o volume do ambiente;

$C(t)$ é a concentração de CO_2 em função do tempo; e

C_s é a concentração de CO_2 na corrente de saída de ar.

Como a concentração de CO_2 no interior do ambiente está igualmente distribuída, a concentração do gás na corrente de saída (C_s) é a mesma encontrada no interior do ambiente, variando ao longo do tempo, $C(t)$. Portanto, a partir do balanço de massa, a Equação 3 é obtida.

$$\frac{d(VC)}{dt} = V * \frac{dC}{dt} = QC_e - QC_s = QC_e - QC \quad (3)$$

Rearranjando-se a Equação 3, obtém-se a Equação 4.

$$\frac{dC}{dt} = \frac{Q}{V} * (C_e - C) \quad (4)$$

Pode-se, então, aplicar a integral nos dois lados da Equação 4, resultando na Equação 7.

$$\int_{C_0}^{C_t} \frac{dC}{(C_e - C)} = \int_0^t \frac{Q}{V} dt \quad (5)$$

$$-\ln \frac{C_e - C_t}{C_e - C_0} = \frac{Q}{V} * t \quad (6)$$

$$Q = \frac{V}{t} * \left(-\ln \frac{C_e - C_t}{C_e - C_0} \right) \quad (7)$$

Nesta equação, considera-se C_0 como sendo o valor máximo da concentração de CO_2 obtido (pico de concentração) e C_e como sendo a concentração de CO_2 no ambiente externo (de onde vem o ar de entrada).

Pode-se, então, comparar a Equação 7 à equação de uma reta ($y = b + ax$), onde $\ln (C_e - C_t)$ é a variável dependente e t é a variável independente. Chega-se, então, à Equação 8.

$$\ln(C_t - C_e) = \ln(C_0 - C_e) - \frac{Q}{V} * t \quad (8)$$

Onde:

$\ln (C_t - C_e)$ é a variável dependente (y);

$\ln (C_0 - C_e)$ é o coeficiente linear (b);

$-Q/V$ é o coeficiente angular (a); e

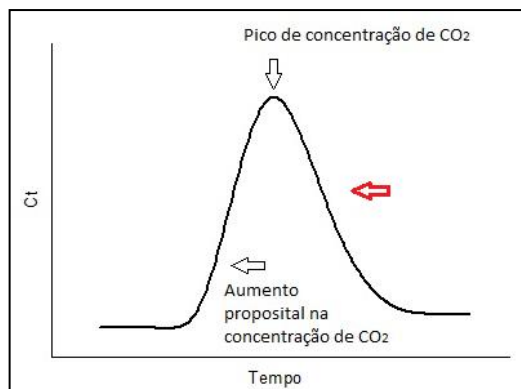
t é a variável independente (x).

Assim, pode-se obter o valor da vazão de ar no ambiente a partir da determinação do coeficiente angular da melhor reta definida por $\ln (C_t - C_e)$ em função de t .

Durante a realização dos testes foi verificado que a concentração de CO_2 , após atingir um valor máximo (pico de concentração de CO_2), decresce rapidamente e, depois de algum tempo, torna-se praticamente constante, com valores próximos ao valor encontrado no ambiente antes da inserção proposital do gás (Figura 11).

Portanto, para a construção da curva definida por $\ln (C_t - C_e)$ em função de t , utilizaram-se apenas os valores de C_t registrados enquanto ainda havia um decaimento na concentração de CO_2 (parte da curva indicada com uma seta vermelha na Figura 11), antes do valor começar a ficar constante. Dessa forma, obtém-se uma curva com um coeficiente de correlação (R^2) mais próximo a 1, ou seja, uma maior adequação do modelo.

Figura 11 - Curva típica observada da concentração de CO_2 em função do tempo.



O valor da taxa de renovação do ar pode ser então obtido (em $\text{m}^3/\text{h}/\text{pessoa}$) dividindo-se o valor da vazão encontrado (em m^3/h) pelo número de pessoas. Para se obter o valor deste parâmetro em trocas/h, basta dividir o valor da vazão pelo volume do recinto.

Basicamente, a principal adaptação feita com relação à metodologia apresentada por Nascimento (2008), é que, no trabalho deste autor, para se encontrar o valor da vazão, utilizou-se apenas um dos valores de concentração situado na descida da curva C_t versus t (indicado em vermelho na Figura 11). No presente trabalho foi elaborado um gráfico de $\ln (C_t - C_e)$ versus t e utilizado o valor do coeficiente angular da reta que melhor se ajustava para determinação de Q , como já foi explicado.

É importante observar que, apesar de recomendar um valor máximo para taxa de renovação do ar em ambientes internos climatizados ($27 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pessoa}$), a RE/ANVISA nº 9 não apresenta uma metodologia para a medição da vazão.

3.5. Avaliação Qualitativa e Sistemas de AVAC

Para efetuar-se uma análise qualitativa da qualidade do ar no NEAM foi observada a presença de prováveis fontes de contaminação nos ambientes, com base nas fontes apresentadas no item 2.1.3.

A fim de se avaliar as medidas de manutenção e limpeza dos aparelhos de ar condicionado utilizados nos ambientes, foi realizada uma pesquisa no setor de refrigeração da Prefeitura da UFS responsável pela manutenção dos sistemas de ventilação e ar condicionado na Universidade. Nessa pesquisa, questionou-se quanto à periodicidade e aos procedimentos utilizados para limpeza e manutenção dos aparelhos de ar condicionado do campus em geral e do NEAM.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para os testes realizados além de uma discussão desses resultados através da comparação com valores recomendados por normas nacionais e internacionais e algumas conclusões quanto à qualidade do ar e ao conforto térmico dos ambientes estudados.

A fim de comparar os resultados com os valores sugeridos pela RE/ANVISA nº 9 de 2003, foram considerados os valores recomendados para os meses de verão, tanto para temperatura quanto para umidade relativa, com base no fato de que o Estado Sergipe apresenta um clima quente e úmido, característico da estação de verão, durante todo o ano.

4.1. Temperatura, Umidade Relativa e Concentração de CO₂

4.1.1. Medições Pontuais

As medições pontuais de temperatura, umidade relativa e concentração de CO₂ nos ambientes internos e no ambiente externo foram realizadas entre os meses de junho e novembro de 2015.

Os resultados encontrados estão representados nos gráficos das Figuras 12, 13, 14 e 15. Nesses gráficos encontram-se os valores obtidos tanto para o ambiente interno quanto para o ambiente externo, para fins de comparação. As linhas horizontais azul e vermelha indicam, respectivamente, os limites mínimo e máximo recomendados pela RE/ANVISA nº 9 de 2003.

Figura 12 – Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Laboratório de Controle da Poluição Atmosférica (LCPA) para ar condicionado desligado e ligado: (a) e (b) Concentração de CO_2 ; (c) e (d) Temperatura; (e) e (f) Umidade Relativa.

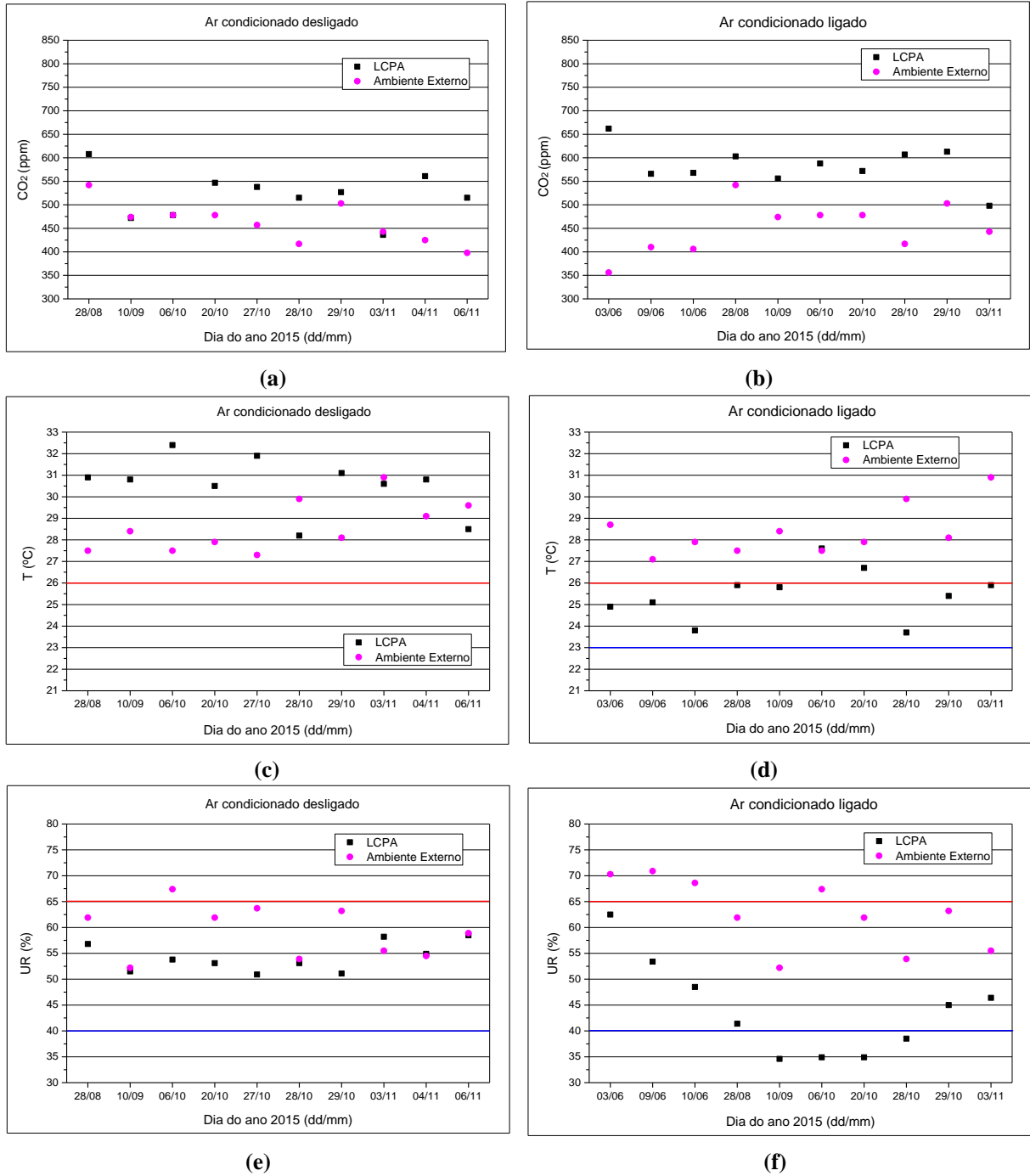


Figura 13 - Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Laboratório Avançado de Informática e Geoprocessamento (LAGEO) para ar condicionado desligado e ligado: (a) e (b) Concentração de CO_2 ; (c) e (d) Temperatura; (e) e (f) Umidade Relativa.

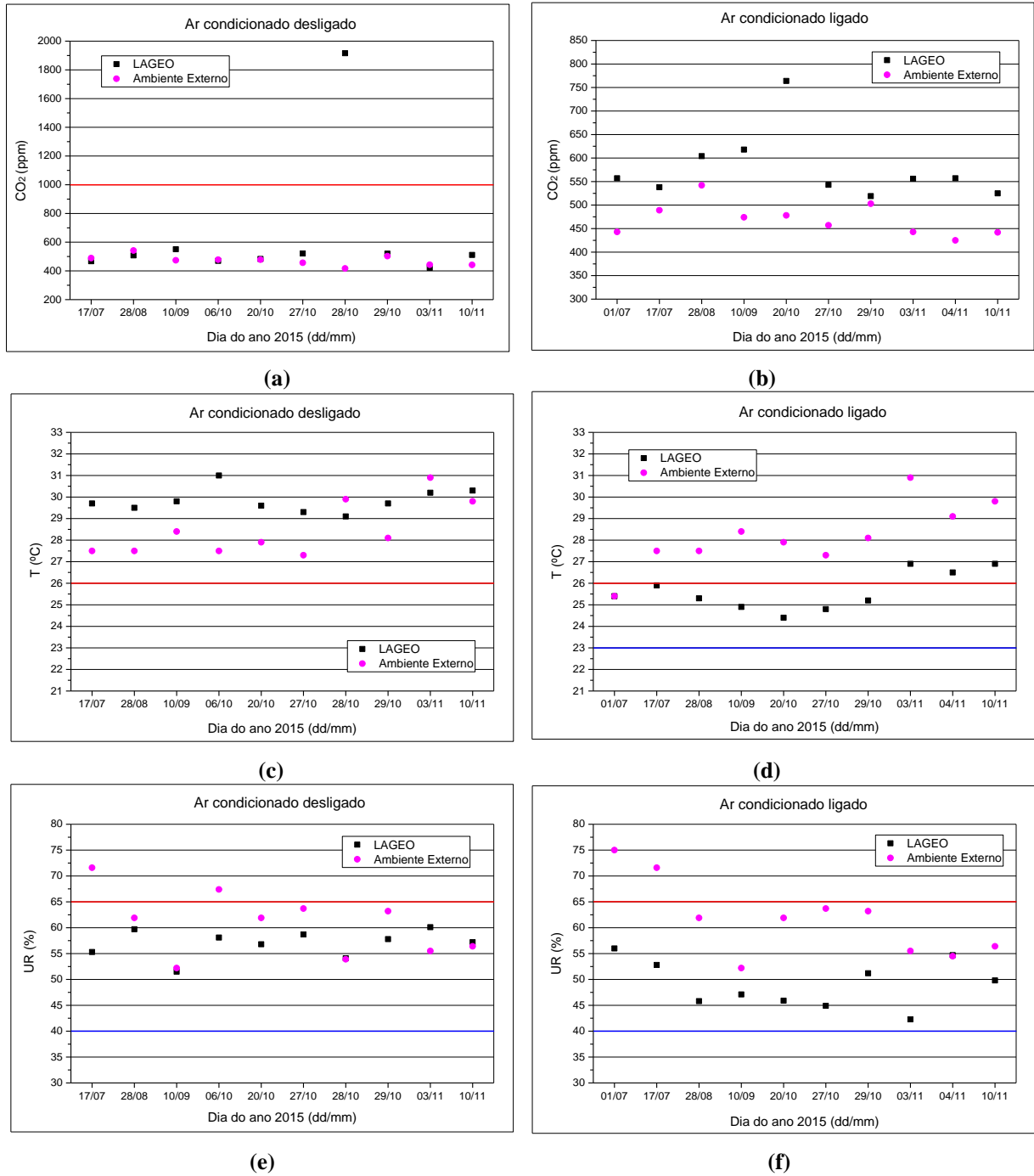


Figura 14 – Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Gabinete 5 para ar condicionado desligado e ligado: (a) e (b) Concentração de CO_2 ; (c) e (d) Temperatura; (e) e (f) Umidade Relativa.

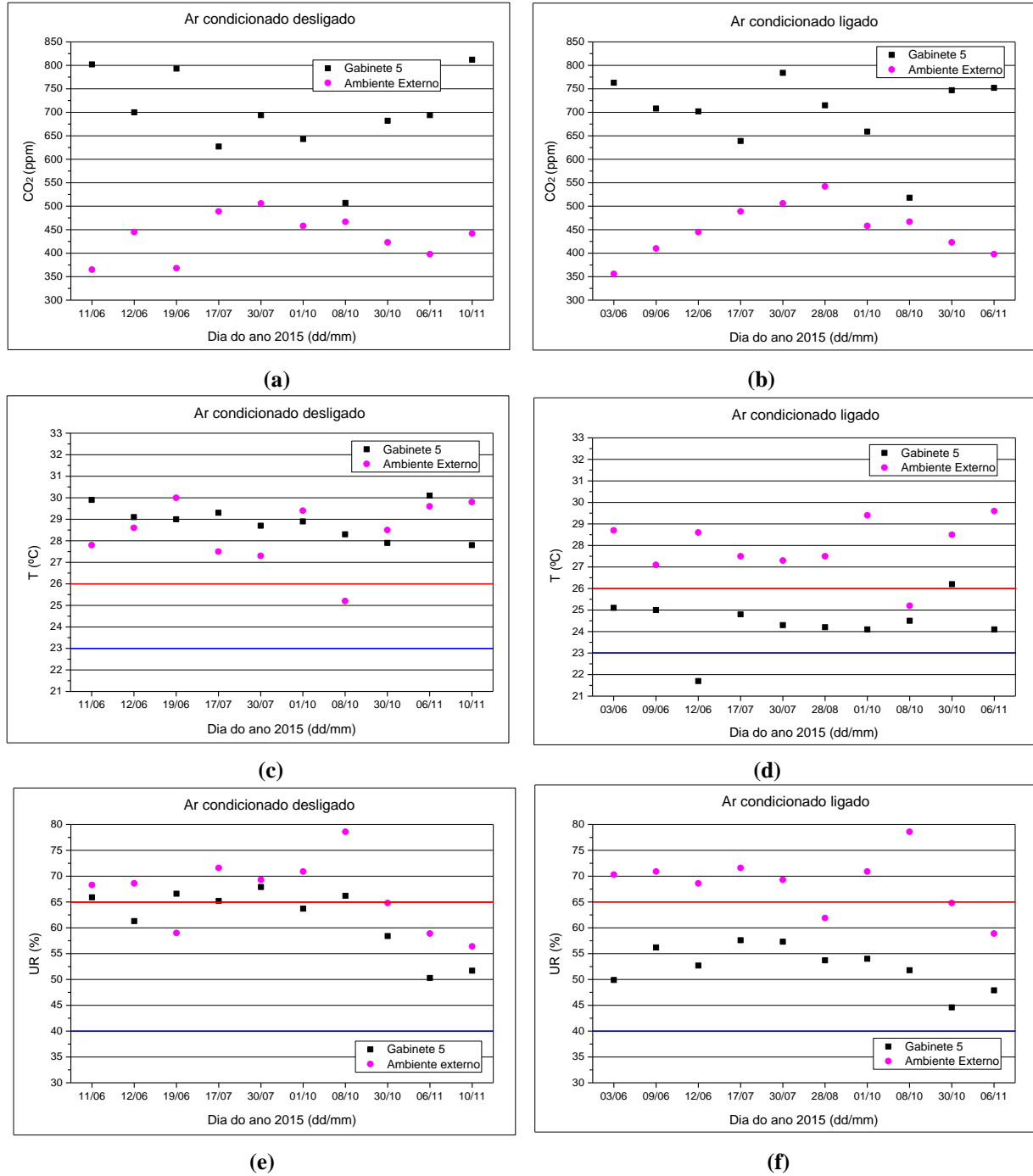
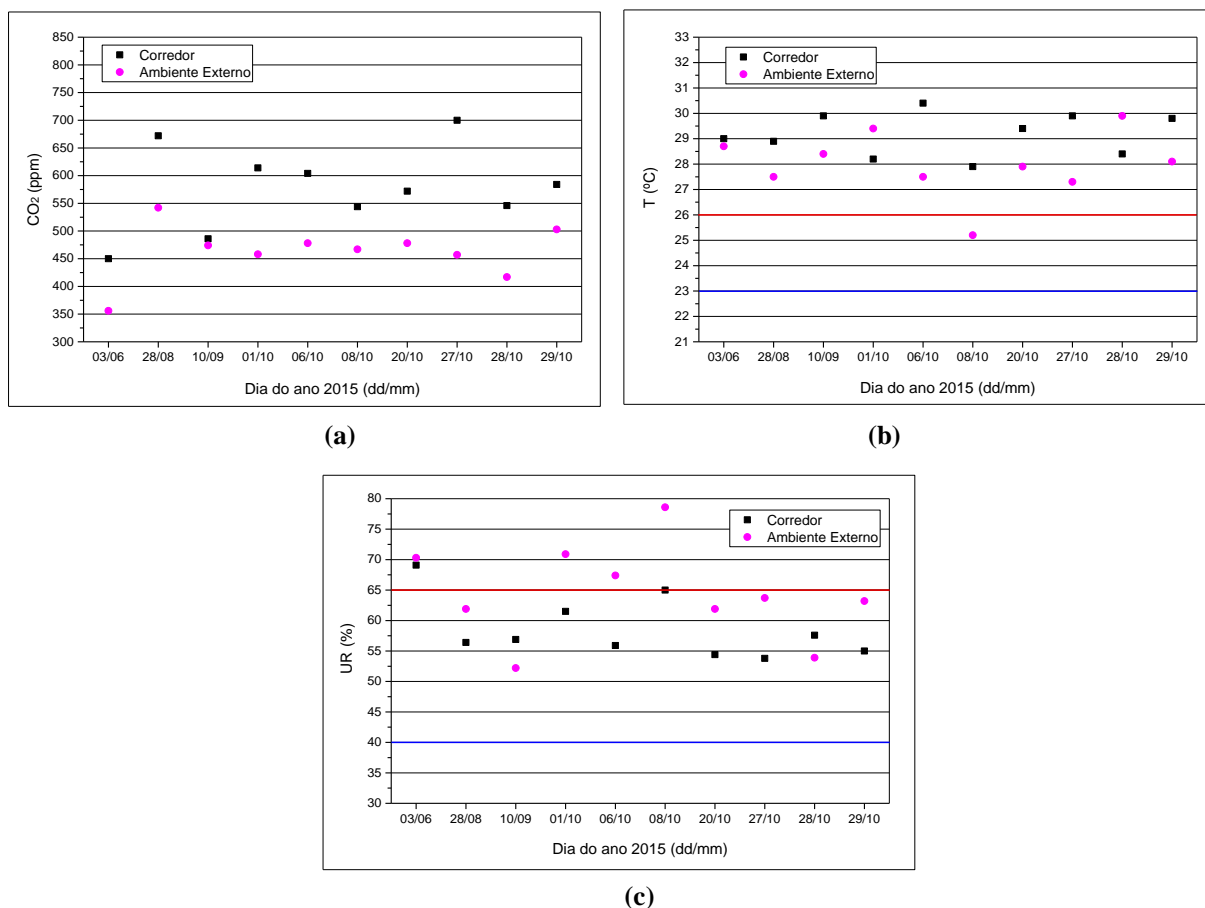


Figura 15 - Gráficos mostrando os resultados das medições pontuais realizadas no Corredor: (a) Concentração de CO₂; (b) Temperatura; (c) Umidade Relativa.



Pode-se notar nas Figuras 12 a 15 que, embora na maior parte das medições o teor de CO₂ nos ambientes seja maior que no ambiente externo, em geral, as concentrações ficaram abaixo do limite máximo recomendado pela RE/ANVISA nº 9 de 2003 (1000 ppm), em todos os ambientes. Houve apenas um valor acima deste limite, registrado no LAGEO no dia 28 de outubro em situação de ar condicionado desligado. Esse valor bastante elevado (1916 ppm) foi obtido 1 (uma) hora e 50 (cinquenta) minutos após o término de uma aula que ocorreu neste ambiente. Após a aula, a sala foi desocupada, porém a porta permaneceu fechada e não há janelas no recinto, o que contribui para a baixa taxa de renovação do ar desse ambiente, como será mostrado mais adiante. Isso dificulta a diluição dos poluentes gerados internamente, o que justifica esse valor tão elevado mesmo após quase duas horas após a desocupação da sala.

Com relação aos valores de temperatura registrados, observa-se uma melhoria na condição térmica dos ambientes quando os aparelhos de ar condicionado estão ligados. Em todas as situações em que o aparelho estava desligado, os valores obtidos estão acima do valor máximo de 26 °C recomendado pela ANVISA. Porém, mesmo em algumas situações em que o ambiente estava climatizado registraram-se valores acima dos 26 °C, como pode ser observado nas Figuras 12d, 13d e 14d. Apenas um valor de temperatura foi registrado abaixo do limite mínimo de 23 °C (Figura 14d).

Vale ressaltar que, para uma situação real, esses valores poderiam ser diminuídos ou aumentados pela simples regulação da temperatura no aparelho. Para todas as medições com os aparelhos ligados, as temperaturas escolhidas para o equipamento eram aquelas que geralmente são utilizadas pelos ocupantes.

Assim como ocorreu com a temperatura, os valores de umidade relativa variaram bastante entre as situações de ar condicionado ligado e desligado, com valores de umidade relativa menores com o aparelho ligado. Esse resultado já era esperado devido ao processo de resfriamento acompanhado de desumidificação realizado pelos aparelhos de ar condicionado onde, além da diminuição da temperatura do ar, ocorre também a condensação de vapor de água presente no ar do ambiente, o que causa uma diminuição na umidade relativa.

Com algumas exceções (Figura 12f), os valores de UR para ar condicionado ligado estão dentro da faixa recomendada pela ANVISA, o que mostra que, mesmo diminuindo a umidade relativa do ar, os aparelhos presentes nos ambientes avaliados não o fazem de uma forma que torne a UR muito baixa. No Gabinete 5, por exemplo, o ar condicionado funciona de maneira bastante positiva melhorando o conforto térmico deste ambiente, pois reduz os valores de T e UR, enquadrando-os dentro da faixa de valores recomendada pela ANVISA.

Apesar de ser um ambiente de grande circulação de pessoas, os níveis de CO₂ encontrados no Corredor estão abaixo dos 1000 ppm recomendados pela RE/ANVISA nº 9 de 2003. Os valores de umidade relativa, com raras exceções, também estão dentro da faixa recomendada por esta resolução. Já com relação à temperatura, os valores variaram entre 27,9 e 30,4 °C, com um valor médio de 29,2 °C que está bem acima do limite de 26 °C recomendado para conforto.

As variações entre os valores obtidos para esses três parâmetros dentro de um mesmo ambiente para uma mesma situação podem ser justificadas pelas mudanças nos dias de medição, época do ano, condições meteorológicas do ambiente externo, ou até mesmo por influência do indivíduo que realizava as medições.

Comparando os valores da concentração de CO₂ entre os ambientes avaliados, nota-se que existem diferentes níveis de CO₂ no prédio. O Gabinete 5, por exemplo, apresenta, em geral, níveis de CO₂ mais elevados que o LAGEO, o LCPA e o Corredor. Isso indica que o ar está mal distribuído dentro do prédio, havendo zonas onde ocorre uma maior concentração de poluentes.

A RN 02 da ABRAVA possui recomendações diferentes da ANVISA para concentração de CO₂. Como mostrado na Tabela 13, a ABRAVA recomenda que o nível de CO₂ em ambientes internos não exceda 700 ppm acima da concentração de CO₂ no ambiente externo.

Exceto para a medição realizada no dia 28 de outubro no LAGEO, não ocorreu nenhum caso em que o nível de CO₂ no ambiente interno estivesse superior ao limite estabelecido por esta norma.

A ABRAVA também recomenda um valor máximo de 3500 ppm para ocupação permanente. Em nenhum dos ambientes foi observada uma concentração superior a essa recomendação.

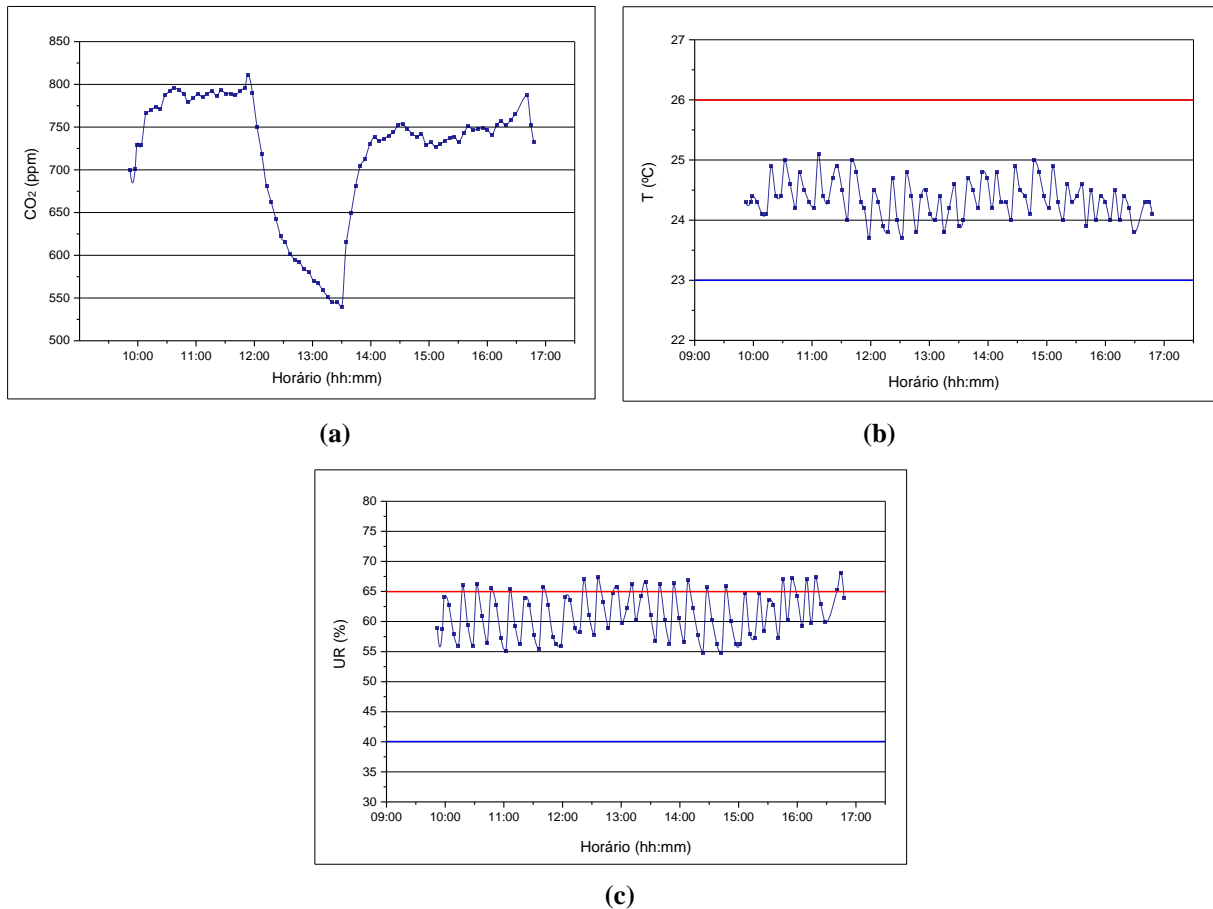
4.1.2. Monitoramento ao Longo do Dia

O monitoramento da concentração de CO₂, T e UR em um ambiente pode dar uma ideia de como esses parâmetros variam ao longo do dia e quais as atividades ou fatores que contribuem para o aumento ou diminuição dos seus níveis.

O monitoramento foi realizado no Gabinete 5, no dia 30 de julho de 2015 das 9h52min às 16h48min. Durante o monitoramento, o ar condicionado estava ligado e o ambiente era ocupado por apenas uma pessoa, ficando vazio entre 11:50h e 13:30h. Os gráficos apresentados na Figura 16 mostram os resultados obtidos. As linhas azul e vermelha indicam, respectivamente, os

limites mínimo e máximo recomendados pela RE/ANVISA nº 9 de 2003 para temperatura e umidade relativa.

Figura 16 - Monitoramento da concentração de CO₂ (a), temperatura (b) e umidade relativa (c), no Gabinete 5, dia 30/07/2015.



Pode-se notar que ocorreu um incremento na concentração de CO₂ nos primeiros momentos de medição. Isso aconteceu devido à liberação de gás carbônico no processo de respiração do indivíduo que realizava a medição. No horário de almoço, entre 11h50min e 13h30min, quando a sala foi desocupada, a concentração de CO₂ sofreu um decréscimo e, quando o indivíduo voltou a ocupar o ambiente, a concentração subiu novamente. Excetuando-se este período, não houve uma grande variação na concentração de CO₂ com o tempo. No início da medição, após a estabilização, a concentração ficou em torno de 800 ppm e, após o retorno do indivíduo, às 11h50min, a concentração manteve-se em torno de 750 ppm. Dessa forma, pode-se concluir que o principal fator do ambiente responsável pela elevação no nível de CO₂ do ar é a ocupação

humana. Esse resultado mostra também que as medições pontuais são representativas, já que o valor encontrado independe do horário em que a medição é realizada.

Todos os valores registrados durante o monitoramento estão abaixo do limite máximo de concentração recomendado pela RE/ANVISA nº 09 de 2003 (1000 ppm), dessa forma, pode-se concluir que o ambiente possui uma renovação do ar satisfatória durante todo o dia. Esses valores também estão dentro da faixa recomendada pela RN 02 da ABRAVA, já que o nível de CO₂ medido no ambiente externo nesse dia foi de 506 ppm .

A temperatura se manteve praticamente constante ao longo do dia, o que já era esperado devido ao ambiente ser climatizado e estar totalmente fechado, e permaneceu dentro dos limites recomendados pela RE/ANVISA nº 09.

Quanto à UR, pode-se notar que alguns pontos ao longo de todo o período de medição ficaram levemente acima do valor máximo recomendado pela ANVISA (65%). Valores elevados de UR favorecem a proliferação de microrganismos dentro do ambiente. Não foi observado nenhum valor abaixo do limite mínimo (40%).

As variações cíclicas nos valores de T e UR durante todo o monitoramento provavelmente ocorreram devido ao mecanismo de funcionamento do aparelho de ar condicionado, que possui intervalos entre os momentos em que está resfriando e desumidificando o ar.

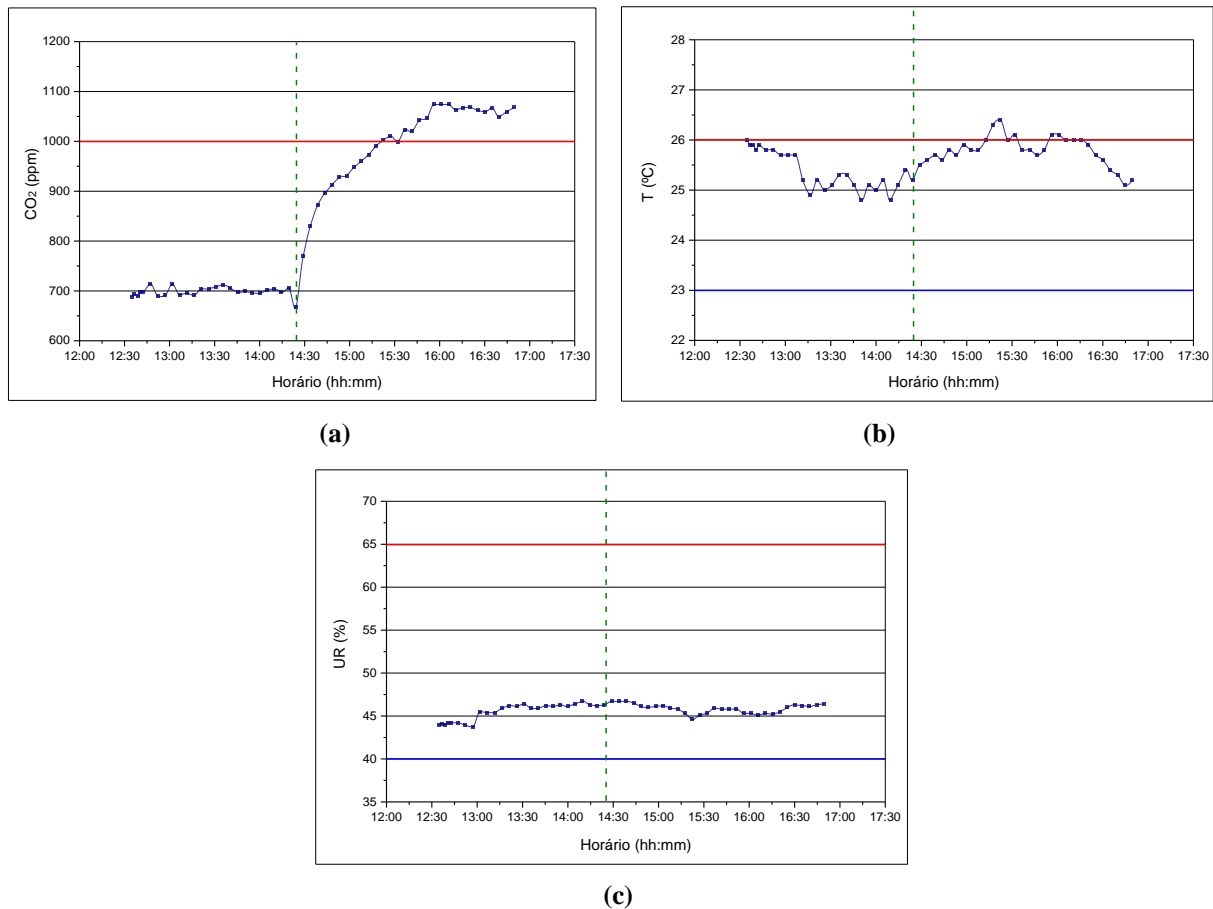
4.1.3. Influência do Número de Ocupantes

Nos resultados mostrados no item anterior, já ficou evidente que os indivíduos, através de suas atividades metabólicas, têm uma grande influência na concentração de gás carbônico dentro de um ambiente. Para confirmar essa influência e mostrar como o número de pessoas pode afetar os valores desse parâmetro, foram realizados mais dois testes.

O primeiro teste foi realizado no Gabinete 5 e consistiu no monitoramento de CO₂, T e UR a medida em que se aumentava o número de ocupantes dentro da sala. Os gráficos da Figura 17 mostramos resultados. As linhas vermelhas e azuis indicam, respectivamente, os valores

máximos e mínimos recomendados pela RE/ANVISA nº 09 de 2003 e a linha verde tracejada indica o momento da entrada da segunda pessoa na sala.

Figura 17 - Variação na concentração de CO₂ (a), temperatura (b) e umidade relativa (c) com o número de pessoas. Gabinete 5, 30/10/2015.



Pode-se observar que após a entrada da segunda pessoa houve um aumento tanto na concentração de CO₂ quanto na temperatura do ambiente. A concentração de CO₂ partiu de valores em torno de 697 ppm e chegou a valores em torno de 1063 ppm, quando voltou a ficar estável. Comparando com o valor máximo recomendado pela RE/ANVISA nº 9 de 2003 (1000 ppm), conclui-se que a renovação do ar no Gabinete 5 é suficiente para uma ocupação de, no máximo, 1 (uma) pessoa. Com duas pessoas o ambiente passa a ter uma concentração média maior que 1000 ppm, e portanto, uma renovação do ar não satisfatória.

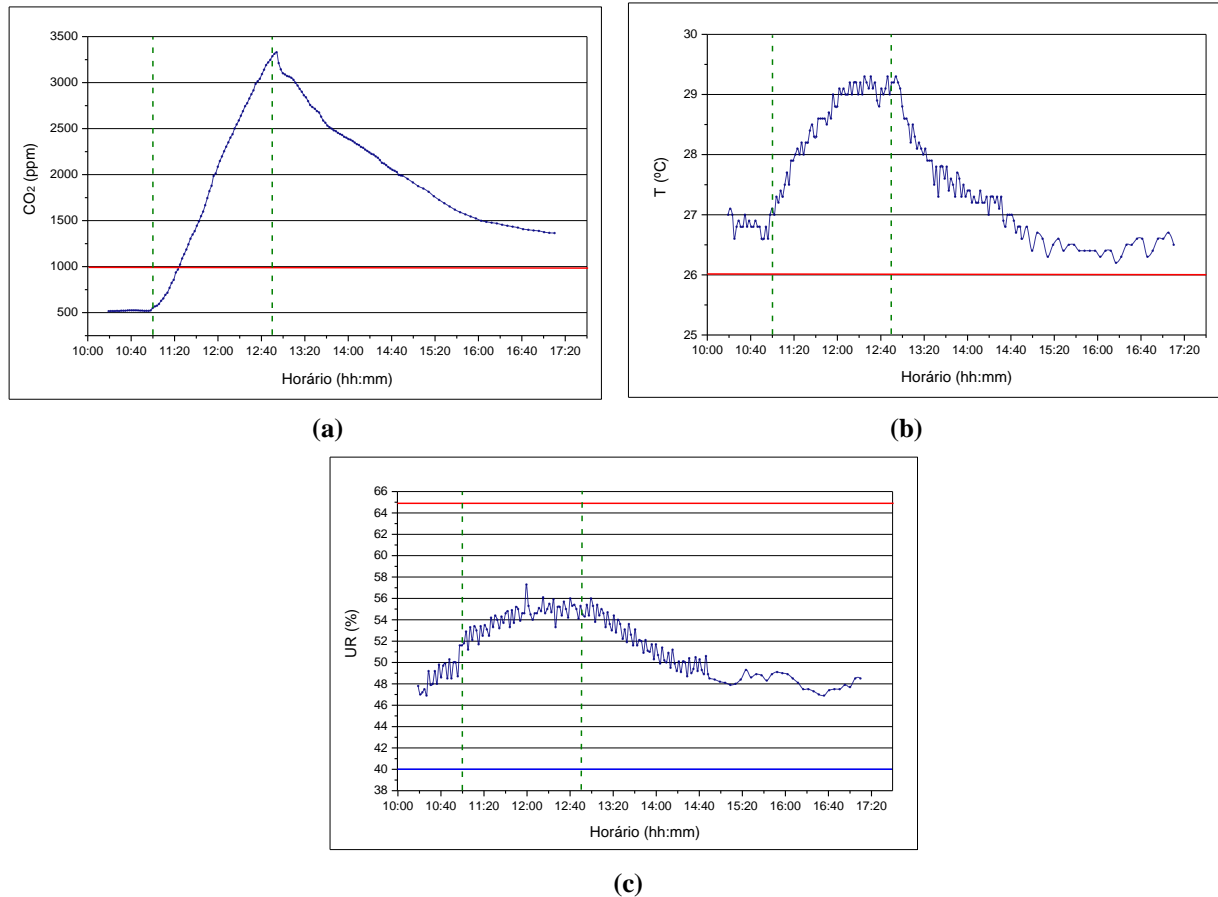
Com relação à temperatura, também houve um aumento com a chegada da segunda pessoa no ambiente, porém o valor voltou a cair no final das medições. Os valores se mantiveram dentro

dos limites especificados pela RE/ANVISA nº 9 de 2003, durante quase todo o teste. Houve alguns momentos, após a entrada do segundo indivíduo, que a temperatura ultrapassou o valor máximo recomendado de 26°C. Cada pessoa libera calor no ambiente, tanto na forma de calor sensível (diferença de temperatura com o ambiente) quanto latente (transpiração) e o controle do ar condicionado não foi reajustado com a entrada da pessoa, o que justifica estes aumentos.

A umidade relativa praticamente não variou durante todo o monitoramento. Todos os valores estão dentro da faixa de valores recomendados pela RE/ANVISA nº 9 de 2003, o que mostra que o aparelho de ar condicionado é que tem mais influência no controle deste parâmetro.

O segundo teste consistiu em monitorar esses três parâmetros durante uma aula realizada no LAGEO a fim de se obter dados em uma situação real onde o número de ocupantes no ambiente é bastante elevado (12 pessoas). Os gráficos da Figura 18 mostram os valores registrados durante esse monitoramento que ocorreu no dia 10 de novembro de 2015, com ar condicionado ligado. As linhas vermelhas e azuis indicam, respectivamente, os valores máximos e mínimos recomendados pela RE/ANVISA nº 09 de 2003 e as linhas verdes tracejadas indicam os momentos de início e término da aula e, portanto, da ocupação.

Figura 18 - Gráficos com as variações na concentração de CO₂ (a), temperatura (b) e umidade relativa (c) durante uma aula no LAGEO com o ar condicionado ligado, dia 10/11/2015.



Pela análise dos gráficos, observa-se um claro aumento nos níveis de CO₂, T e UR quando a aula iniciou às 11h00min. Com menos de 30 minutos de aula, a concentração de CO₂ já havia ultrapassado o limite de 1000 ppm e ao término da aula essa concentração já era superior a 3300 ppm e sem indicação de estabilização, ou seja, se os indivíduos continuassem no ambiente, a concentração de CO₂ ainda iria aumentar por um bom tempo até estabilizar, provavelmente ultrapassando o valor de 3500 ppm indicado pela RN 02 da ABRAVA como limite máximo para ocupação permanente.

Quanto à temperatura, os valores já estavam bastante elevados antes mesmo do início da ocupação do ambiente. Os resultados das medições pontuais para esse ambiente em situação de ar condicionado ligado (Figura 13d) mostram que houve um aumento na temperatura desde o início do mês de novembro. Possivelmente, o aparelho não estava funcionando corretamente. Mesmo

assim, pode-se notar que um número elevado de pessoas tem uma influência bastante significativa na temperatura, confirmando o que havia sido observado no teste anterior (Figura 17b).

Já os resultados de umidade relativa mostram uma situação diferente da observada no teste anterior (Figura 17c). Enquanto a entrada de uma só pessoa no Gabinete 5 não influenciou o valor de umidade relativa, uma ocupação elevada no LAGEO já mostra uma influência significativa nos valores de UR, devido à respiração dos indivíduos que libera vapor de água. Os valores aumentaram de 50% até em torno de 56%. No entanto, durante todo o momento, a UR ficou dentro da faixa de valores recomendada pela ANVISA.

4.2. Bioaerosol

As Figuras 19 e 20 exibem as fotografias das placas de Petri que mostram o crescimento de fungos para as três amostragens realizadas em dias diferentes no LAGEO e no Gabinete 5, respectivamente.

Figura 19 – Fotografias das placas de Petri após um período de 7 dias de incubação a 25 °C para as amostragens realizadas no LAGEO nos dias (a) 17/07/2015; (b) 01/10/2015; e (c) 08/10/2015.

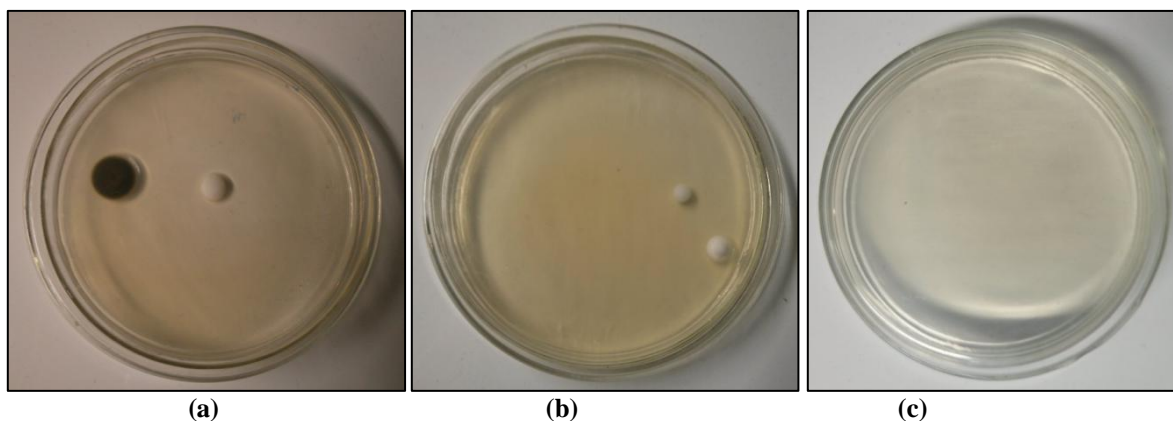
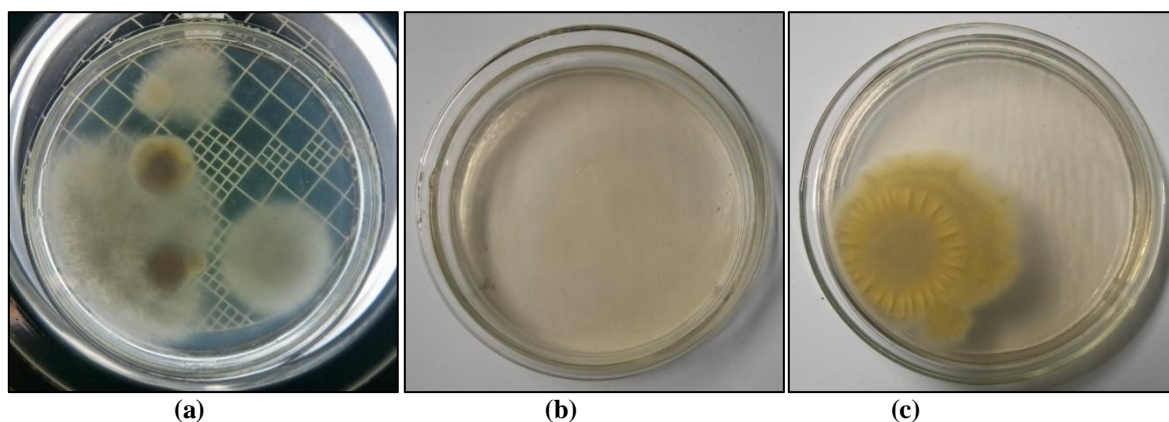


Figura 20–Fotografias das placas de Petri após um período de 7 dias de incubação a 25 °C para as amostragens realizadas no Gabinete 5 nos dias (a) 17/07/2015; (b) 01/10/2015; e (c) 08/10/2015.



Nota-se que, para as amostragens realizadas no LAGEO, houve crescimento de fungos apenas nos dias 17 de julho e 01 de outubro de 2015, mostrando que no dia 08 de outubro de 2015 ou o ar do laboratório estava livre de fungos, ou, devido à metodologia utilizada, o volume de ar amostrado foi insuficiente e, portanto, não representativo do ambiente.

Tanto no dia 17 de julho quanto no dia 01 de outubro, houve a formação de apenas 2 (dois) micélios, o que não é um valor muito elevado, porém já mostra uma contaminação no ambiente.

Situação parecida ocorreu no Gabinete 5, onde houve a formação de 6 (seis) micélios no dia 17 de julho, nenhum no dia 01 de outubro e 2 (dois) no dia 08 de outubro.

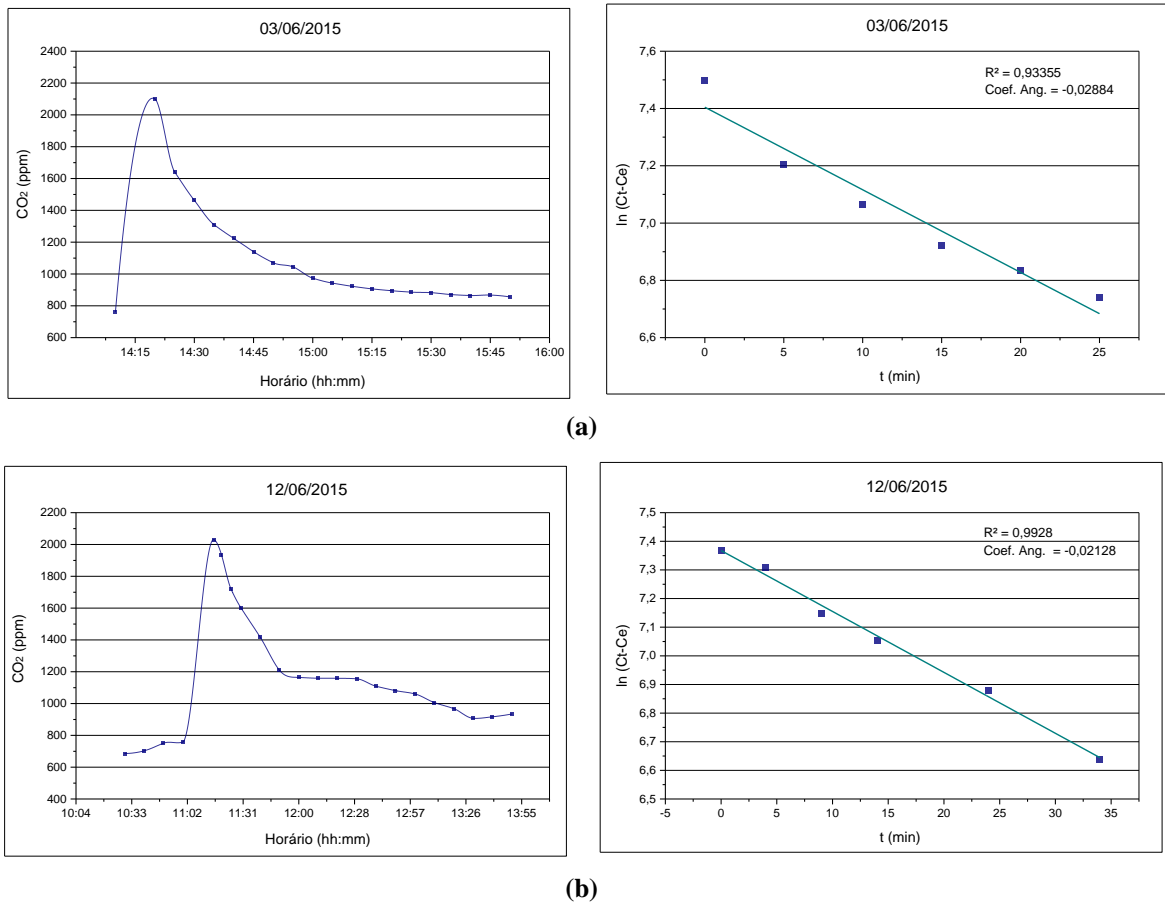
É importante destacar que a metodologia utilizada dificultou uma análise mais precisa quanto aos valores de bioaerosol, não sendo possível a quantificação do número de unidades formadoras de colônia (UFC) por volume de ar amostrado. Porém, mesmo trabalhos desenvolvidos utilizando a metodologia descrita na Norma Técnica 001 da RE/ANVISA nº 9 de 2003 na íntegra encontraram algumas dificuldades (Nascimento, 2008).

Neste trabalho, não foi realizada nenhuma análise quanto ao tipo dos fungos encontrados. Porém, uma observação a ser feita com relação à RE/ANVISA nº 9 de 2003 é que ela não especifica se a contagem dos fungos deve levar em consideração apenas fungos filamentosos ou se as leveduras também devem ser incluídas.

4.3. Taxa de Renovação do Ar

A taxa de renovação do ar foi medida em dois ambientes, o Gabinete 5 e o Laboratório LAGEO. No Gabinete 5 foram feitas 5 medições (3 com o ar condicionado ligado e 2 com o aparelho desligado). No LAGEO foi realizada 1 medição para cada situação. As Figuras 21, 22, 23 e 24 mostram os valores de concentração de CO_2 variando com o tempo durante a realização de cada teste e os gráficos resultantes da linearização do modelo.

Figura 21 - Perfil de variação de CO_2 e gráfico linearizado para o Gabinete 5 nos dias: (a) 03/06/2015; (b) 12/06/2015; e (c) 06/11/2015. Ar condicionado ligado.



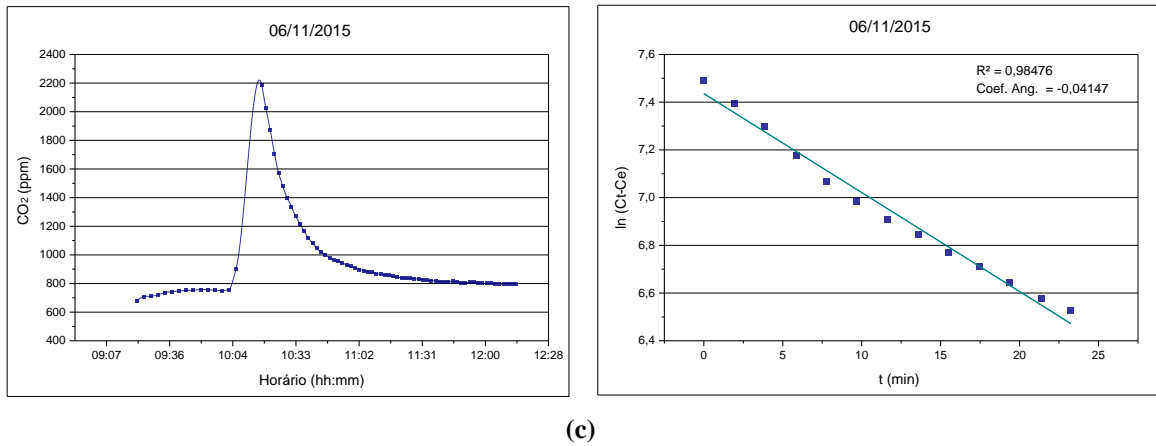
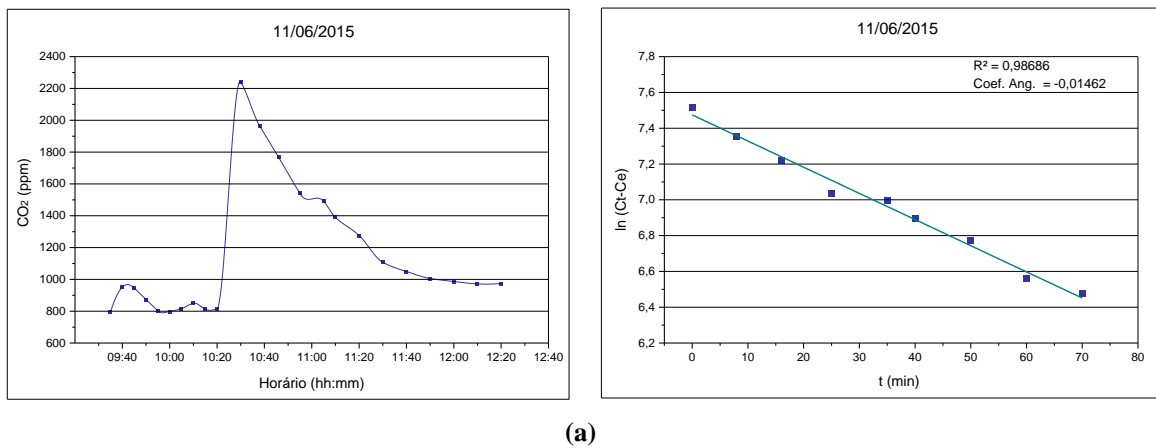
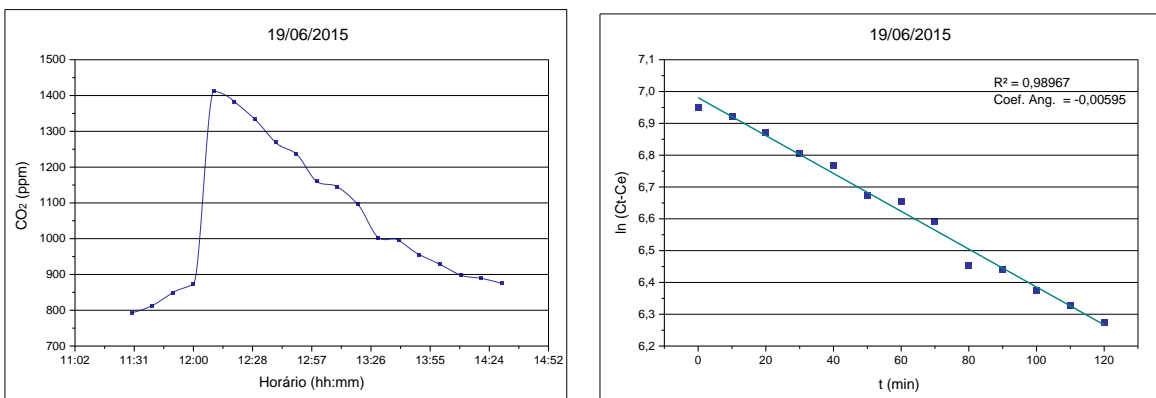


Figura 22 - Perfil de variação de CO₂ e gráfico linearizado para o Gabinete 5 nos dias: (a) 11/06/2015; e (b) 19/06/2015. Ar condicionado desligado.



(a)



(b)

Figura 23 - Perfil de variação de CO₂ e gráfico linearizado para o LAGEO no dia 01/07/2015. Ar condicionado ligado.

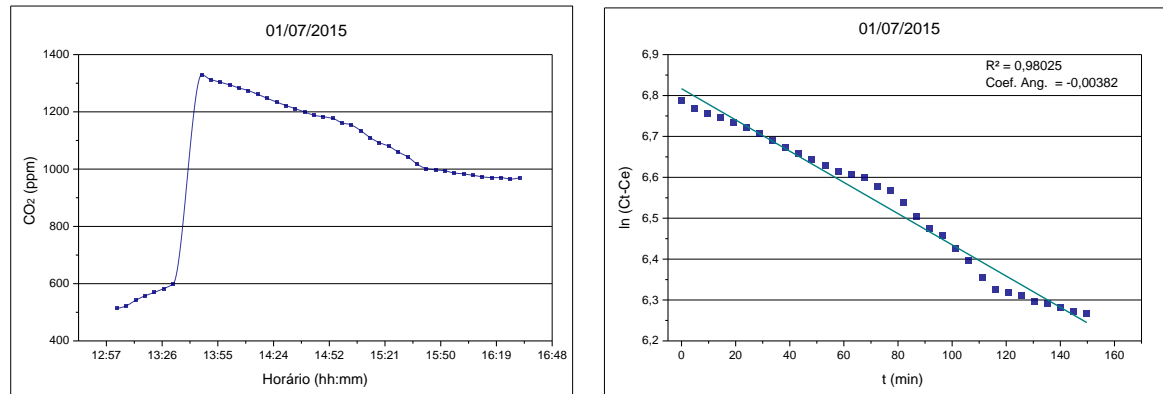
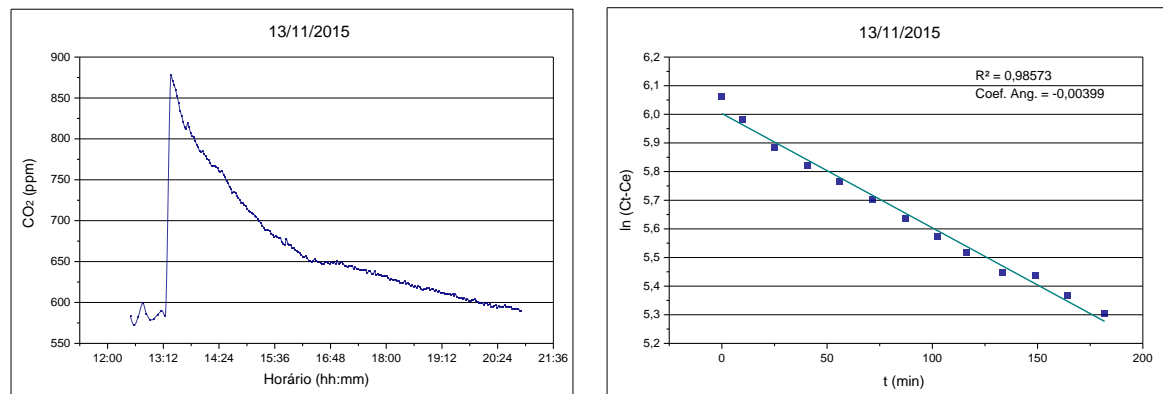


Figura 24 - Perfil de variação de CO₂ e gráfico linearizado para o LAGEO (AL) no dia 13/11/2015. Ar condicionado desligado.



Nota-se uma excelente correlação com o uso da equação linearizada do modelo (Equação 8), obtendo-se R^2 acima de 0,98 em 6 dos 7 experimentos, o que mostra a validade do modelo de qualidade do ar interior empregado e o uso deste método para estimativa da vazão de renovação.

A Tabela 21 exhibe os valores encontrados para vazão e para a taxa de renovação do ar em m³/h/pessoa e em trocas/h. O número de pessoas considerado para os cálculos das taxas de renovação do ar em m³/h/pessoa foi de 01 (uma pessoa) para o Gabinete 5 e de 23 (vinte e três) pessoas para o LAGEO. O Gabinete 5 tem um volume de 24,36 m³ e, na maior parte do tempo, ocupado por apenas um professor. O LAGEO tem um volume de 98,13 m³ e sua capacidade máxima é para 22 alunos mais um professor.

Utilizando-se o valor mínimo de 27 m³/h/pessoa recomendado pela RE/ANVISA nº 9 e a vazão encontrada, pode-se obter ainda o número máximo de pessoas por ambiente para que este esteja de acordo com a recomendação da ANVISA. Esses valores também são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Resultados dos valores de vazão, taxa de renovação do ar e número máximo de pessoas de acordo com a RE/ANVISA nº 9 de 2003.

Local	Data	Q (m³/h)	Taxa de renovação em m³/h/pessoa	Taxa de renovação em trocas/h	Número máximo de pessoas (RE/ANVISA nº 9 de 2003)
Gabinete 5 Ar condicionado ligado	03/06/2015	42,15	42,15	1,73	1,6
	12/06/2015	31,10	31,10	1,28	1,2
	06/11/2015	60,61	60,61	2,49	2,2
Gabinete 5 Ar condicionado desligado	11/06/2015	21,37	21,37	0,88	0,8
	19/06/2015	8,70	8,70	0,36	0,3
LAGEO Ar condicionado ligado	01/07/2015	22,49	0,98	0,23	0,8
LAGEO Ar condicionado desligado	13/11/2015	23,49	1,02	0,24	0,9

Analisando os valores obtidos para o Gabinete 5, chega-se à conclusão de que esse ambiente possui uma melhor taxa de renovação do ar quando o aparelho de ar condicionado encontra-se ligado. Uma possível explicação para esse resultado é que o ar condicionado retira do ambiente um ar menos denso (quente) e devolve para o ambiente um ar mais denso (frio), criando

uma pressão positiva no recinto, o que induz a uma maior saída de ar rico em CO_2 do ambiente interno para o externo e a consequente entrada de ar renovado. Como o aparelho de ar condicionado apenas recircula o ar do ambiente, que está com suas portas e janelas fechadas, tanto a saída quanto a entrada de ar ocorrem pelas frestas das portas, janelas, e do contato da parede divisória com o teto.

Os valores de taxa de renovação do ar encontrados para o LAGEO com ar condicionado ligado e desligado foram praticamente iguais, com uma pequena elevação quando o aparelho estava desligado. Este ambiente está localizado na parte central do prédio do NEAM e não existe nenhuma conexão com o ambiente externo. As únicas entradas de ar seriam as frestas da porta e do contato das paredes divisórias com o teto. Mesmo que o aparelho de ar condicionado induza uma saída de ar da sala, o ar de renovação vem, em sua totalidade, de dentro do prédio (concentração de CO_2 maior que no ambiente externo), o que dificulta a diluição do CO_2 dentro do ambiente.

Comparando-se os valores obtidos para taxa de renovação do ar em $\text{m}^3/\text{h}/\text{pessoa}$ com o valor mínimo recomendado pela ANVISA, conclui-se que apenas o Gabinete 5 em situação de ar condicionado ligado se adéqua a esta norma. Com o ar condicionado desligado, a taxa de renovação do ar não é suficiente para ocupação por nenhuma pessoa. O mesmo ocorre para o LAGEO para ar condicionado tanto ligado quanto desligado.

A ASHRAE recomenda valores de taxa de renovação do ar em trocas /h para diferentes tipos de ambiente, sem levar em consideração o nível de ocupação, como mostrado na Tabela 8.

Considerando o Gabinete 5 como um escritório, a faixa de valores recomendados seria de 6 a 20 trocas/h. O ambiente mostrado na Tabela 8 que mais se aproxima de uma sala de aula são as salas de conferência cujo valor recomendado é de 25 a 30 trocas/h. Comparando-se esses valores com os valores mostrados na Tabela 21, conclui-se que nenhum dos ambientes em nenhuma situação se encontra com uma taxa de renovação do ar adequada para os padrões da ASHRAE. Isso mostra que a ASHRAE é mais restrita que a ANVISA com relação à taxa de renovação do ar exigida para ambientes internos.

Considerando que o Gabinete 5 é uma sala ocupada geralmente por apenas um professor que sempre utiliza o ambiente com o aparelho de ar condicionado ligado, não há problemas

quanto à taxa de renovação do ar encontrada para este ambiente, de acordo com a RE/ANVISA nº 9 de 2003. Porém, em algumas situações o ambiente pode vir a ser ocupado por duas ou mais pessoas ao mesmo tempo. Nesses casos, a taxa de renovação do ar não é suficiente para garantir uma adequada diluição dos poluentes gerados internamente, confirmando o resultado obtido no teste com número de pessoas nesse Gabinete (Figura 17a).

Todos os resultados obtidos para a taxa de renovação do ar no LAGEO mostram que não ocorre uma adequada renovação do ar nesse ambiente, o que favorece o acúmulo de poluentes, principalmente quando se leva em consideração que a capacidade máxima de ocupação é de 23 pessoas.

4.4. Diagnóstico Qualitativo

A análise do prédio do NEAM quanto às possíveis fontes de contaminação e fatores que contribuem para uma má qualidade do ar mostrou que os principais problemas são a configuração do ambiente recebido pelo Departamento de Engenharia Elétrica, as modificações realizadas até se obter o atual *layout* e a frequência de manutenção dos aparelhos de ar condicionado, como será mostrado no próximo item. O prédio contém diversas paredes divisórias que separam os ambientes. Este *layout* é uma fator que dificulta a ventilação natural através da entrada de ar externo e contribui para uma elevada temperatura nos ambientes não climatizados (a exemplo do Corredor). Muitos ambientes ficam localizados de forma a não haver nenhuma parede em contato com o ambiente externo (a exemplo do LAGEO), o que dificulta a entrada de ar de renovação, contribuindo para um acúmulo dos poluentes dentro dos ambientes.

Além deste fator, existem diversas possíveis fontes geradoras de poluentes no prédio. Os próprios aparelhos de ar condicionado são fontes de microrganismos se não forem higienizados com a frequência necessária. Outras possíveis fontes observadas são cortinas, impressoras, máquinas de fazer café (aumentam a umidade do ar), mobília (principalmente os móveis comprados recentemente), caixas entulhadas, produtos de limpeza, computadores.

Observou-se a presença de exaustores em alguns ambientes, principalmente nos gabinetes dos professores, o que contribuiria para aumentar a renovação do ar nos ambientes, porém, estes não estão funcionando.

4.5. Manutenção dos Sistemas de AVAC

De acordo com as informações obtidas na Prefeitura do Campus, a limpeza de palhetas, filtros e bandejas dos aparelhos de ar condicionado do campus e, portanto, do NEAM, é realizada mediante solicitação de algum professor ou funcionário do prédio e durante os períodos de recesso, quando a empresa contratada para realização desse serviço faz a limpeza de todos os aparelhos de um determinado prédio (didáticas, núcleos, departamentos).

Para limpeza de palhetas e bandejas dos aparelhos de ar condicionado, os produtos utilizados são água sanitária e água. A água sanitária é utilizada para a remoção do biofilme que pode se formar com a utilização do equipamento durante algum período de tempo. Os filtros são higienizados apenas com detergente de cozinha e jatos de água.

Já a higienização das serpentinas é realizada anualmente ou mediante solicitação, com a utilização de um produto químico específico para desencrustação.

Ainda de acordo com informações obtidas na prefeitura, atualmente existem 1839 aparelhos de ar condicionado com registro no campus de São Cristóvão da UFS. Além destes, existem outros que foram comprados com recurso de projetos de pesquisa ou de obra e que não possuem registro, como os aparelhos das didáticas, por exemplo. Estima-se, portanto, que existem mais de 2000 aparelhos distribuídos pelo campus.

O número total de solicitações atendidas para manutenção dos aparelhos entre 01 de janeiro e 12 de novembro de 2015 foi de 1234. Esse número inclui também as solicitações para manutenção dos equipamentos não registrados.

Considerando que o campus possui 2000 aparelhos de ar condicionado e que não foi realizada nenhuma manutenção além das 1234 solicitadas, pode-se estimar que ocorreu menos de

uma manutenção por aparelho num período de 10 meses e 12 dias, o que está bem abaixo do recomendado pela RE/ANVISA nº 9 de 2003 (Tabela 12).

Considerando apenas o NEAM, foram solicitadas 6 manutenções nesse mesmo período, sendo que o prédio possui 15 aparelhos em uso atualmente. Portanto, uma média de manutenção também bem abaixo do recomendado.

4.6. Sugestões de Melhoria

Após a identificação das possíveis causas dos problemas de qualidade do ar e de conforto no prédio do NEAM, é possível sugerir algumas medidas para melhorar este quadro.

A redução das fontes é geralmente apontada como a principal medida a ser tomada para melhorar a qualidade do ar em ambientes internos. A reunião de todas as impressoras e copiadoras em um único ambiente arejado, por exemplo, seria uma das maneiras de reduzir a exposição dos ocupantes do NEAM ao ozônio gerado por esses equipamentos. Além disso, recomenda-se colocar móveis novos em um ambiente mais arejado por alguns dias antes de levá-los para o ambiente onde serão utilizados.

Outra medida para melhorar a qualidade do ar no NEAM seria o conserto dos sistemas de exaustão já existentes em alguns Gabinetes e a instalação de sistemas exaustores em locais críticos, onde a taxa de renovação do ar é muito reduzida, a exemplo do LAGEO. A instalação de venezianas nas portas e nas paredes, próximo ao teto, também contribuiria para aumentar as trocas de ar entre os ambientes.

A implantação de boas práticas no prédio, como, por exemplo, a abertura das janelas ao menos uma ou duas vezes por dia e a realização de limpeza mais frequente dos ambientes, também é uma maneira de melhorar a qualidade do ar. Quando da realização de limpeza no prédio, é importante abrir as janelas e deixar o ambiente bem arejado por um momento para que os COVs emitidos por esses produtos possam ser diluídos pela entrada de ar externo.

Por poder se tornar uma fonte significativa de microrganismos e aumentar os casos de SED, o sistema de ar condicionado é um dos componentes que merecem uma maior atenção dentro de

ambientes fechados. A Criação de um Programa de Manutenção Interno dos aparelhos de ar condicionado, o que incluiria a solicitação periódica de limpeza dos equipamentos, de acordo com as frequências estabelecidas por normas nacionais, é uma medida que ajudaria a reduzir a contaminação dos ambientes por bioaerossol, além de garantir uma maior eficiência no funcionamento dos equipamentos. A adequada localização das entradas de ar externo também é um fator importante para evitar a entrada de poluentes gerados externamente.

Nos ambientes não climatizados, a exemplo do corredor, onde os valores de temperatura tendem a ser elevados, causando uma sensação de desconforto nos ocupantes, podem-se utilizar ventiladores de teto, que, além de aumentar a sensação de conforto diminuindo a temperatura, também iriam contribuir para uma melhor circulação do ar.

5. CONCLUSÕES

A partir de uma análise dos resultados obtidos nas medições pontuais, é possível concluir que os ambientes apresentaram, no geral, bons resultados quanto aos níveis de concentração de CO₂, com valores abaixo dos limites estabelecidos pela RE/ANVISA nº 9 e pela RN 02 da ABRAVA, indicando que a renovação do ar é satisfatória para uma ocupação reduzida. Porém a diferenciação entre os níveis de CO₂ nos diferentes recintos indica uma má distribuição do ar no prédio.

Os valores obtidos para temperatura e umidade relativa para ambientes climatizados e não climatizados mostram que a utilização dos aparelhos de ar condicionado contribui para melhorar a sensação de conforto térmico, reduzindo os níveis de T e UR aos valores recomendados pela RE/ANVISA nº9. A análise feita no corredor mostrou que este ambiente possui elevados valores de temperatura, o que provoca uma sensação de desconforto nos seus ocupantes, principalmente por ser um ambiente transitório entre os ambientes internos climatizados e o ambiente externo.

Observou-se também que, no Gabinete 5, não ocorrem variações significativas de CO₂, T e UR com o horário de medição, atestando a reprecisabilidade das medições pontuais. Atestou-se também que o principal fator que contribui para elevar a concentração de CO₂ nos ambientes internos é a ocupação humana, que, a depender do grau, pode elevar bastante a concentração para níveis bem maiores do que os indicados pelas normas, evidenciando que os aparelhos de ar condicionado são projetados para atender a um determinado nível de ocupação do ambiente.

Quanto à taxa de renovação do ar, conclui-se que o Gabinete 5 apresenta um bom grau de renovação para uma ocupação de no máximo uma pessoa com o aparelho de ar condicionado ligado, de acordo com a RE/ANVISA nº 9. O LAGEO apresentou resultados de taxa de renovação do ar muito abaixo dos limites estabelecidos pelas normas, principalmente se for levado em consideração a sua capacidade de ocupação.

Os resultados das análises de bioaerosol mostraram que há presença de fungos no ar tanto do Gabinete 5 quanto do LAGEO, porém, devido à metodologia utilizada, não foi possível fazer uma quantificação dos valores em UFC/m³.

A avaliação qualitativa dos ambientes mostrou, como principais fontes de poluição e desconforto, o *layout* do prédio e a baixa frequência de manutenção dos aparelhos de ar condicionado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução ANVISA nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Publicada no DOU, de 20 de janeiro de 2003.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Qualidade do ar em espaços interiores**: um guia técnico. Amadora, 2009. 56 p.
- ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2025-2039, ago. 2012.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE 55 - 2004 standard**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE 62.1 - 2010 standard**: ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, 2010.
- ANSES, 2013 apud LUENGAS et al. A review of indoor air treatment technologies. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 499-522, fev. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14679**: sistemas de condicionamento de ar e ventilação: execução de serviços de higienização. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16401-1**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários: parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16401-2**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários: parte 2: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16401-3**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários: parte 3: qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15848**: sistemas de ar condicionado e ventilação: procedimentos e requisitos relativos às atividades de construção, reformas, operação e manutenção das instalações que afetam a qualidade do ar interior (QAI). Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13971**: sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento: manutenção programada. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). **Recomendação normativa ABRAVA nº 2, de 2003**: sistemas de condicionamento de ar e ventilação para conforto.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990a**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990b**. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=105>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

BRICKUS, L. S. R.; AQUINO NETO, F. R. de. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 65-74, jan./fev. 1999.

BURROUGHS, H. E.; HANSEN, S. J. **Managing Indoor Air Quality**. 2. ed. Fairmont Press, 2011. 371 p.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do ar interno**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999.

CHEGA a dez o número de mortos por doença do legionário em Nova York. **G1**, ago. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bemestar/noticia/2015/08/chega-a-dez-numero-de-mortos-por-doenca-do-legionario-em-nova-york.html>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **The inside story**: a guide to indoor air quality. United States, 1995.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **A citizen's guide to random**: the guide to protecting yourself and your family from random. United States, 2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Indoor air quality. Disponível em: <<http://www2.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

ERDMANN; APTE, 2004 apud LUENGAS et al. A review of indoor air treatment technologies. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 499-522, fev. 2015.

GENNARO, G. de et al. Indoor air quality in schools. **Environmental Chemistry Letters**, Suíça, v. 12, p. 467-482, 01 jun. 2014.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. de. Poluição química relacionada ao ar de interiores n Brasil. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 359-365, set. 2003.

HEINSOHN, R. J.; CIMBALA, J. M. **Indoor air quality engineering**: environmental health and control of indoor pollutants. Marcel Dekker, INC, University Park, Te Pennsylvania State University, Pennsylvania, U.S.A, 2003.

HOPKE apud GERALDO, L. P. et al. Medidas dos níveis de radônio em diferentes tipos de ambientes internos na região da baixada santista, SP. **Radiologia Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 283-286, 2005.

INSTRUTHERM. **Medidor de dióxido de carbono, temperatura e umidade**. Disponível em: <<http://www.instrutherm.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2015.

LAMBERTS, R. et al. **Conforto e Stress Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina: Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, 2014.

LUENGAS et al. A review of indoor air treatment technologies. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 499-522, fev. 2015.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1990. 403 p.

MENDELL, 2005 apud ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2025-2039, ago. 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 3523, de 28 de agosto de 1998**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html>. Acesso em: 20 ago. 2015.

NASCIMENTO, G. C. do. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos**: salas de aula. Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, 2008.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L. SATTTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 31-114, jan./mar. 2012.

O MAL que vem pelo ar. **VEJA**, São Paulo: Editora Abril, 1876 ed., n. 42, p. 148, 2004.

PEGAS, P. N. et al. Outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1145-1149, maio 2010.

RODRIGUES, A. M.; PIEDADE, A. C. da; BRAGA, A. M. **Térmica de edifícios**. 1. ed. Amadora: Edições Orion, 2009. 673 p.

SCHIRMER, W. N. et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 8, p. 3583-3590, ago. 2011.

SILVA, A. F. S. **Avaliação da qualidade ambiental interior de um edifício climatizado artificialmente, com ênfase na análise do conforto térmico**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010.

TUCKER, 2004 apud ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2025-2039, ago. 2012.

VIEGAS, J. **Cadernos edifícios nº 6: ventilação e qualidade do ar interior**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2010.

WHO, 1982 apud GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. de. Poluição química relacionada ao ar de interiores n Brasil. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 359-365, set. 2003.

WHO, 1989 apud SCHIRMER, W. N. et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 8, p. 3583-3590, ago. 2011.

WHO, 1998 apud FILHO, P. P. G.; SILVA, C. R. M.; KRITSKI, A. L. Ambientes climatizados, portaria 3.523 de 28/8/98 do Ministério da Saúde e padrões de qualidade do ar de interiores do Brasil. **Jornal de Pneumologia**, São Paulo, v. 26, n. 5, ISSN 1678-4642, set./out. 2000.

WHO, 2000 apud LUENGAS et al. A review of indoor air treatment technologies. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 499-522, fev. 2015.

WHO, 2008 apud QUADROS et al. Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 431-438, jul/set. 2009.

WHO, 2014 apud LUENGAS et al. A review of indoor air treatment technologies. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 499-522, fev. 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould**. 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants**. 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines for indoor air quality: household fuel combustion**. 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Classificação de filtros de ar para utilização em ambientes climatizados, conforme recomendação normativa da Sociedade Brasileira de Controle da Contaminação (SBCC).

Classe de filtro		Eficiência (%)
Grossos	G0	30-59
	G1	60-74
	G2	75-84
	G3	85 e acima
Finos	F1	40-69
	F2	70-89
	F3	90 e acima
Absolutos	A1	85-94, 9
	A2	95-99, 96
	A3	99, 97 e acima

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE (1998).

ANEXO B – Padrões primários de qualidade do ar atmosférico.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 h*	240
	MGA	80
Fumaça	24 h*	150
	MAA	60
Partículas inaláveis	24 h*	150
	MAA	50
SO ₂	24 h*	365
	MAA	80
CO	1 h*	40000
	8 h	10000
O ₃	1 h*	160

NO ₂	1 h*	320
	MAA	100

Fonte: ABRAVA (2003).

Notas: *Não deve ser excedido mais que uma vez por ano.

MGA: Média Geométrica Anual.

MAA: Média Aritmética Anual.

ANEXO C – Classificação de filtros de partículas de acordo com a EM 779:2002.

Tipo de Filtros	Classe	Eficiência gravimétrica média (Eg %)	Eficiência média para partículas de 0,4 µm (Ef %)
Grossos	G1	$50 \leq E_g < 65$	-
	G2	$65 \leq E_g < 80$	-
	G3	$80 \leq E_g < 90$	-
	G4	$90 \leq E_g$	-
Finos	F5	-	$40 \leq E_f < 60$
	F6	-	$60 \leq E_f < 80$
	F7	-	$80 \leq E_f < 90$
	A8	-	$90 \leq E_f < 95$
	A9	-	$95 \leq E_f$

Fonte: ABNT (2008c).

ANEXO D – Tabela resumo com as recomendações da OMS para alguns poluentes em ambientes interiores.

Poluente	Valor recomendado
Benzeno	Não existe um nível seguro de exposição que possa ser recomendado
CO	100 mg/m ³ (15 min)
	35 mg/m ³ (1 h)
	10 mg/m ³ (8 h)

	7 mg/m ³ (24 h)
Formaldeído	0,1 mg/m ³ (30 min)
Naftaleno	0,01 mg/m ³ (anual)
NO ₂	200 µg/m ³ (1 h) 40 µg/m ³ (anual)
HPA	Qualquer nível de exposição é considerado relevante para a saúde humana
Radônio	67 Bq/m ³ (risco de vida de 1/100)
Tricloroetileno	230 µg/m ³ (risco de vida de 1/10000)
Tetracloroetileno	0,25 mg/m ³ (anual)

Fonte: adaptado de WHO (2010).